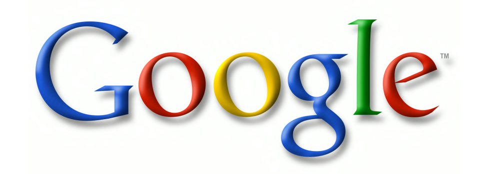






Geschichte der Optik.

Zweiter Theil.

Geschichte der Optik,

vom

Ursprunge dieser Wissenschaft bis auf die gegenwärtige Zeit,

von

Dr. *Emil Wilde*,
Professor der Mathematik und Physik am Berlinischen Gymnasium zum grauen Kloster.

Zweiter Theil.
Von Newton bis Euler.



Berlin, bei Rücker und Püchler.
1843.

Isaak Newton.

Geb. 1642., gest. 1727.

Kurze Lebensbeschreibung Newton's — Das Sonnenlicht ist nicht einfach, sondern aus den prismatischen Farben zusammengesetzt, von denen eine jede ihr eigenes Brechungsverhältniſs hat — Wiedervereinigung der prismatischen Farben zu weiſsem Sonnenlichte — Erklärung der farbigen Säume, mit denen sich alle Gegenstände, die man durch ein gläsernes Prisma betrachtet, umgeben zeigen — Erklärung der Farben in den beiden Regenbogen — Die Farben der Bilder in den dioptrischen Fernröhren — Vergleichung der sphärischen und chromatischen Abweichung der Stralen — Das Newtonsche und Cassegrainsche Spiegel-Teleskop — Newton's Spiegel-Mikroskop — Die Anwandlungen der leichteren Transmission oder Reflexion — Erklärung der natürlichen Farben der Körper aus den Anwandlungen — Newton's unzureichende Erklärung der Beugungs-Erscheinungen — Einige Stellen aus den Schriften Newton's über die Undulations-Theorie — Die Gegner der Newtonschen Farbenlehre bis zum Ende des achtzehnten Jahrhunderts — die Einwürfe Göthe's gegen die Newtonsche Farben-Theorie, und ihre Widerlegung — Die Unhaltbarkeit der Götheschen Farbenlehre — Die Verdienste Göthe's um die Terminologie der Farbenlehre — Neuere Entdeckungen über die verschiedenen, die Newtonsche Theorie bestätigenden Eigenschaften der prismatischen Farben.

Isaak Newton ist zu Woolsthorpe, einem Dorfe in der Grafschaft Lincoln, in der Nähe des Städtchens Grantham den 25. Decbr. 1642. geboren. Als Waise erblickte er das Licht der Welt, denn sein Vater, Isaak Newton, war, sechs und dreiſsig Jahre alt, schon einige Monate nach seiner Vermälung mit Harriet Ayscough gestorben. Daſs der schwächliche

Körper ihres Sohnes das Werkzeug des kräftigsten Geistes werden, dafs er selbst ein ungewöhnlich hohes Alter erreichen sollte, war bei seiner zu frühe erfolgten Geburt nichts weniger, als wahrscheinlich.[1])

Drei Jahre hindurch erfreute sich der Knabe der ängstlichen Fürsorge seiner eigenen Mutter. Als diese aber eine zweite eheliche Verbindung mit Barnabas Smith, dem Pfarrer eines Dorfes in der Nähe von Woolsthorpe, einging, übergab sie ihn der Pflege seiner Grofsmutter, bei welcher er, ohne dafs auf seine geistige Ausbildung besondere Rücksicht genommen wurde, bis zu seinem zwölften Jahre blieb. Erst in diesem Alter wurde er auf die Elementar-Schule in Grantham gebracht, wo sich bald die ersten Spuren seiner überall schaffenden Denkkraft offenbarten. Während seine Mitschüler in den Erholungsstunden spielten, war er mit dem Baue einer kleinen Windmühle, welcher er das gesammte Räderwerk gab, oder mit dem einer Wasseruhr beschäftigt, oder anderen ernsteren Arbeiten hingegeben. Zu seinen Lieblingsbeschäftigungen in jenem frühen Knabenalter gehörte besonders die Verfertigung von Sonnenuhren, auf die er, von Niemanden hierin unterwiesen, durch die Beachtung des Schattens, den die Gebäude auf gegenüberstehende Wände in dem Hofe seines Wohnhauses warfen, geleitet worden war.

Im Jahre 1656. zog die Mutter Newton's, nach dem Tode ihres zweiten Gatten, nach Woolsthorpe zurück mit dem Wunsche, dafs ihr Sohn die Aufsicht über die Verwaltung ihres kleinen Landgutes mit ihr

1) Ausführlichere Nachrichten findet man in der Lebensbeschreibung Newton's von Biot in der „*Biographie universelle*", und in „Sir Isaak Newton's Leben" von David Brewster, aus dem Englischen übersetzt von Goldberg. Leipzig, 1833.

theilen mögte. Dieser zeigte aber eine so entschiedene Abneigung gegen jede, dem Landmanne obliegende Arbeit, eine so grofse Liebe dagegen zu jedem Buche, dessen er habhaft werden konnte, dafs die Mutter endlich den Vorstellungen ihres Bruders, der Pfarrer in der Nähe von Woolsthorpe war, nachgab, und ihren Sohn nach Grantham zurückschickte. Nachdem er sich hier einige Zeit hindurch vorbereitet hatte, bezog er im achtzehnten Jahre seines Alters das Trinity-Collegium in Cambridge.

Dafs Newton ein sehr geringes Maafs des positiven Wissens auf die Universität mitnahm, läfst sich nach seinem bisherigen Leben nicht bezweifeln. Dafür aber brachte er einen um so kräftigeren Körper, und einen um so glühenderen Eifer für wissenschaftliche Belehrung mit. Der Mangel an einer Leitung seiner Studien hatte freilich zur Folge, dafs er in der Wahl der Lehrmittel nicht immer glücklich war. Nicht Euklid's „Elemente", sondern Descartes's „Geometrie", Wallis's „*Arithmetica infinitorum*" und Kepler's „Optik" waren die Schriften, die er zuerst, wenn er die Mathematik kennen lernen wollte, studiren zu müssen wähnte. Jeden anderen würden die unübersteiglich scheinenden Schwierigkeiten, welche das Lesen dieser Schriften selbst für Geübtere hat, für immer von der Mathematik abgeschreckt haben: ihn aber belebten sie zu um so gröfserem Eifer, so dafs er schon im Jahre 1665. für würdig erachtet wurde, den Grad eines Baccalaureus, und zwei Jahre darauf den eines Magisters zu erhalten, ungeachtet seine Studien durch die im Jahre 1666. in Cambridge herrschende Pest eine bedeutende Störung erlitten hatten. Im Jahre 1669. wurde er, da Barrow die Professur der Mathematik niederlegte, um sich ganz der Theologie widmen zu

können, zum Nachfolger dieses seines Lehrers ernannt.

Schon früher, als Newton die Professur antrat, hatte er seine Gedanken auf jene Entdeckungen, die seinen Namen zu einem der gefeiertsten unter den Gelehrten aller Völker gemacht haben, auf die Analyse des Lichtes, die Methode der Fluxionen, die Gravitation der Massen, und die Konstruktion der Spiegel-Teleskope gleichzeitig gerichtet. Denn die verschiedene Brechbarkeit des Lichtes entdeckte er, wie aus einem an Oldenburg, den Sekretär der Königlichen Societät, geschriebenen Briefe vom 6. Februar $16\frac{71}{72}$ [1]) hervorgeht, schon im Anfange des Jahres 1666.,[2]) in

1) Diese zwiefachen Jahreszahlen, die auch nachher mehrmals vorkommen, sind dadurch entstanden, dafs die Engländer bis zum Jahre 1752., in welchem sie erst den Gregorianischen Kalender annahmen, ihr bürgerliches Jahr nicht mit dem 1. Januar, sondern mit dem 25. März anfingen. Die oberhalb des Striches stehende Zahl bezieht sich also auf die damals noch in England, die unterhalb desselben stehende auf die, bei der Mehrzahl der übrigen christlichen Völker Europa's gebräuchliche Art, die Jahre zu zählen. Ideler's „Handbuch der Chronologie", Th. II, pag. 339. John Herschel's „Astronomie", übersetzt von Michaelis, pag. 500.

2) *Isaaci Newtoni opuscula, ed. Castillioneus. Lausannae et Genevae*, 1744., tom. II, pag. 279. Gleich im Anfange, der sich auf einen anderen Brief vom 18. Januar $16\frac{71}{72}$ bezieht, in welchem Newton die von ihm gemachte Entdeckung blofs angedeutet hatte, heifst es: *Exsoluturus, quae tibi promiseram, omissis omnibus verbis mere officiosis, simpliciter dicam, quod ineunte anno* 1666., *quo tempore operam dabam conficiendis opticis vitris figurarum a sphaerica diversarum, mihi vitreum prisma triangulare paravi, eo notissima phaenomena colorum experturus. Cum idcirco cubiculum meum obscurum reddidissem, parvoque foramine ligneam fenestram pertudissem, quo satis lucis a sole venientis intrare posset, illam ingredientem prismate excepi, quo refracta fuit in parietem oppositum. Et primo quidem me non parva voluptate affecerunt vividi et intensi colores, ita prodeuntes; paulo post vero, cum eos majori cura considerarem, in oblongam figuram diductos miratus sum,*

welchem er auch die Methode der Fluxionen ersann.[1]) Auf die allgemeine Gravitation der Massen wurde er durch eine Erscheinung, an der unzählige Millionen vor ihm gleichgiltig vorübergegangen waren, geleitet. Als er nämlich der in Cambridge herrschenden Pest wegen nach Woolsthorpe zurückgekehrt war, und hier eines Tages unter einem Apfelbaume ruhete, von dem er einen Apfel zur Erde fallen sahe, durchzuckte plötzlich der Gedanke, dafs die Ursache des Falles in einer von der Erdmasse ausgehenden Kraft liegen, dafs eine solche Anziehungskraft allen Massen des Universums eigen sein mögte, und dafs die Weltkörper durch eben diese Kraft in ihren Bahnen erhalten werden, seinen jugendlichen Geist.[2]). Dafs schon Kepler denselben Gedanken gehabt, und Bullialdus sogar das Gesetz, nach welchem die Stärke der Anziehungskraft mit der Entfernung abnehmen müfste, angegeben hatte,[3]) war

siquidem putabam, fore, ut juxta receptas refractionum leges in circularem se contraherent.

1) *Newtoni opuscula*, tom. I, pag. 383. in einem Briefe Newton's an den Abbé Conti. Es kommt hier unter anderen folgende Stelle vor: *Wallisius in praefatione ad duo prima suorum operum volumina, edita anno* 1695., *indicat, me meis litteris, scriptis per annum* 1676., *explanavisse Leibnitio methodum, ut eam voco, fluxionum, et, ut ille, differentialem, neque invenisse hanc methodum decem annos antea, id est, anno* 1666. *aut antea. Cum autem Leibnitius ex illo tempore habuerit cum Wallisio commercium epistolicum, nec iis, quae Wallisius asseruerat, repugnaverit, imo nihil, quod reprehenderet, invenerit, spero, eum nunc quoque consensurum.*

2) So erzählt dies Voltaire in den *Éléments de la philosophie de Newton, trois. part. chap.* 3., in der Ausgabe von Beuchot, tom. 38., pag. 196. *Un jour, en l'année* 1666., *Newton retiré à la campagne, et voyant tomber des fruits d'un arbre, à ce que m'a conté sa nièce* (*Mad. Conduit*), *se laissa aller à une meditation profonde sur la cause, qui entraîne ainsi tous les corps* etc.

3) Man sehe den ersten Theil, pag. 289.

ihm also damals noch nicht bekannt. Weil ihm nach der Entdeckung der verschiedenen Brechbarkeit des Lichtes die dioptrischen Fernröhre unverbesserlich zu sein schienen, so unternahm er in eben jener Zeit auch die Konstruktion eines Spiegel-Teleskopes, nachdem er den von Jakob Gregory gemachten Vorschlag,[1]) zum Objektive und ersten Okulare eines Fernrohres Spiegel anzuwenden, kennen gelernt hatte, und brachte im Anfange des Jahres 1668. ein solches Instrument, zu welchem er aber nicht, wie Gregory gewollt hatte, als erstes Okular einen Hohl- sondern einen Plan-Spiegel nahm, bei dem sich daher auch die Röhre mit dem vergröfsernden gläsernen Okulare nicht in der Richtung der Objekte, sondern zur Seite des Instrumentes befinden mufste, eigenhändig zu Stande. Das Instrument war sechs Zoll lang, und die Brennweite der plan-konvexen Linse hatte ein Sechstel bis ein Siebentel Zoll, so dafs die Vergröfserung etwa eine vierzigmalige war, und es leistete, wie Newton versichert, dies Spiegel-Teleskop im Betreff der Deutlichkeit der Bilder so viel, wie ein dioptrisches Fernrohr von einer Länge von sechs Fufs. Er konnte durch dasselbe die vier Monde des Jupiter, ja selbst die Phasen der Venus, diese jedoch nicht mit völliger Klarheit erkennen. Ungeachtet seine Zeit damals, besonders durch die Analyse des Lichtes, in Anspruch genommen wurde, so scheuete er dennoch nicht die Mühe, ein zweites besseres Spiegel-Teleskop, das noch jetzt in der Bibliothek der Königlichen Societät in London aufbewahrt wird, eigenhändig zu verfertigen. Als die Societät von diesen Teleskopen Kenntnifs erhielt, forderte sie den Erfinder auf, ihr dieselben zu übersen-

1) Man sehe den ersten Theil, pag. 310.

den, worauf Newton im December 1671. sein besseres Teleskop an Oldenburg schickte. Noch in demselben Monate machte Seth Ward, Professor der Astronomie in Oxford, der Societät, welcher er angehörte, den Vorschlag, Newton unter ihre Mitglieder aufzunehmen, und schon im folgenden Monate den 11. Januar 16$\frac{71}{72}$., an demselben Tage, an welchem die von Oldenburg in Lateinischer Sprache verfaſste Beschreibung des Teleskops an Huygens nach Paris geschickt wurde, fand seine Aufnahme in diese gelehrte Gesellschaft Statt. Seit dieser Zeit beginnt der Glanz, der an den Namen Newton's gefesselt ist, und um so herrlicher leuchten wird, je allgemeiner seine Entdeckungen von der späteren Nachwelt werden begriffen und gewürdigt werden können.

Seiner Entdeckung der verschiedenen Brechbarkeit des Lichtes erwähnt Newton gegen Oldenburg zuerst in einem Briefe vom 18. Januar 16$\frac{71}{72}$. mit folgenden Worten: „Ich bitte Sie, mich in Ihrem nächsten Briefe zu benachrichtigen, wie lange noch die wöchentlichen Zusammenkünfte der Societät dauern werden. Denn wenn sie selbige noch einige Zeit fortsetzt, so bin ich entschlossen, ihr einen Bericht über eine physikalische Entdeckung, die mich auf die Verfertigung des Teleskopes geleitet hat, zur Beachtung und Prüfung vorzulegen. Ich zweifele nicht, daſs diese Entdeckung der Gesellschaft weit angenehmer, als selbst das Teleskop sein werde, weil sie meiner Meinung nach die wichtigste ist, die man bis jetzt über die Natur des Lichtes gemacht hat.“ [1]) Der Brief Newton's, in welchem Oldenburg aufgefordert wird, die ihm zugleich mit diesem Briefe übersandte Abhandlung der

1) *Birch's History*, vol. III, pag. 5.

Societät zu übergeben, ist der schon vorhin erwähnte vom 6. Februar 16$\frac{71}{72}$. Die Societät übertrug die nähere Prüfung dieser Entdeckung ihren Mitgliedern Seth Ward, Boyle und Hooke, die einen so günstigen Bericht über dieselbe abstatteten, dafs man beschlofs, an Newton eine Danksagung zu schicken, und die Abhandlung in den „Transaktionen" drucken zu lassen. Ich übergehe hier die vielen Widerwärtigkeiten, denen Newton, beinahe sein ganzes Leben hindurch, dieser Entdeckung wegen ausgesetzt war, weil ich in der Folge in einer besonderen Abhandlung hierauf zurückkommen werde, und bemerke nur noch, dafs seine in den „Transaktionen" zerstreuten optischen Abhandlungen erst im Jahre 1704., zwei Jahre nach dem Tode Hooke's, in dem Werke: „*Optice, or a treatise of the reflexions, inflexions and colours of light*" gesammelt erschienen, weil Newton eine jede Veranlassung, durch welche die Eifersucht Hooke's, der nach dem Tode Oldenburg's im Jahre 1678. Sekretär der Societät geworden war, hätte gereizt werden können, zu vermeiden wünschte. Mit der Uebersetzung dieses Werkes in die Lateinische Sprache, die im Jahre 1706. erschien, war Newton so zufrieden, dafs er dem Uebersetzer, Samuel Clarke, ohne durch ein Versprechen hierzu verpflichtet zu sein, 500 Pfund schenkte. Ein anderes nicht weniger berühmtes optisches Werk Newton's, das aber nicht in so populärem Tone, wie „die Optik" gehalten ist, die *Lectiones opticae*, wurde erst nach dem Tode desselben gedruckt. Selten haben wissenschaftliche Werke so viele Auflagen nöthig gemacht, wie diese beiden. [1])

1) Die Optik ist in London in Englischer Sprache wieder gedruckt worden in den Jahren 1714., 1721. und 1730; die Lateinische Uebersetzung in London 1719., 1721. und 1728., in Lausanne

Die astronomischen und mathematischen Entdekkungen Newton's stehen zwar nur in entfernter Beziehung zu meinem Zwecke; indessen sind sie so innig in das Leben dieses grofsen Mannes verwebt, dafs ich wenigstens eine kurze Nachricht über dieselben geben will. Dafs er schon im Jahre 1666. an die Möglichkeit, alle Erscheinungen, welche sich bei der Bewegung der Weltkörper darbieten, aus einem einzigen Principe abzuleiten, gedacht habe, ist bereits erwähnt worden. Auf tiefere Untersuchungen über diesen Gegenstand wurde er aber erst im Jahre 1679., nachdem sein eifrigster Nebenbuhler ihn eines Irrthums überführt hatte, geleitet. Newton übergab nämlich in diesem Jahre der Societät eine Abhandlung, in welcher er die Bewegung der Erde um ihre Achse durch einen direkten Versuch zu prüfen vorschlägt. Dreht sich, so schlofs er, die Erde um ihre Achse von Westen nach Osten, so kann ein Körper, den man ihrer Anziehungskraft überläfst, nicht vertikal fallen, sondern er mufs um so mehr nach Osten abweichen, je bedeutender die Höhe ist, aus der man ihn fallen läfst. Hooke dagegen, dem die Prüfung dieses Vorschlages übergeben wurde, machte Newton'n bemerklich, dafs seine Schlüsse nur für den Aequator der Erde gelten, dafs aber ein Körper an jedem anderen Orte, wo die Richtung der Schwerkraft gegen die Achse der Erde schief ist, nicht nach Osten, sondern auf der nördlichen Erdhälfte nach Süd-Osten abweichen müsse. Dieser Einwurf, den Newton nicht zu widerlegen

1740. und in Padua 1773. Ueberdies ist sie ins Französische übersetzt erschienen in Amsterdam 1720., in Paris 1726. und 1787. Die *Lectiones opticae* sind 1728. in Englischer, und 1729. in Lateinischer Sprache in London erschienen, auch sind sie in dem zweiten Theile der schon angeführten, von Castillioneus besorgten Ausgabe der *Opuscula* enthalten.

vermogte, den er vielmehr als begründet anerkennen mufste, wurde die Veranlassung, dafs er die ganze Kraft seines Geistes fortan der physischen Astronomie zuwandte. Die erste Frucht dieses Wetteifers war der Beweis des Satzes, durch den die Regel für alle ferneren Untersuchungen in der physischen Astronomie gegeben war, dafs, wenn ein Körper der Anziehungskraft eines anderen ausgesetzt wird, und diese Kraft nach dem Quadrate der Entfernung abnimmt, die Bahn desselben ein Kegelschnitt sein müsse, in dessen Brennpunkt sich der anziehende Körper befindet. Obgleich Newton in dem Beweise dieses Satzes, was die Theorie betrifft, keinen Fehlschlufs gemacht zu haben gewifs war, so wankte dennoch seine Ueberzeugung, dafs eine solche Anziehungskraft, wie er sie vorausgesetzt hatte, in der Sonne wirklich vorhanden sei, und dafs durch eine eben solche, von der Erde ausgehende Kraft der Mond in seiner Bahn erhalten werde, um so mehr, da er, wenn der Raum, durch den ein Körper an der Oberfläche der Erde in einer Sekunde fällt, mit der Bewegung des Mondes verglichen wurde, die Abweichung viel zu bedeutend fand, als dafs er nicht an der Wahrheit solcher Voraussetzungen hätte zweifeln sollen. Ein glücklicher Zufall beseitigte indefs bald diese Zweifel. Als er nämlich im Juni 1682. nach London gereist war, und dort durch die Societät die Resultate der von Picard im Jahre 1679. ausgeführten Gradmessung der Erde erfahren hatte, fiel ihm der Gedanke ein, dafs die Differenzen in seinen Rechnungen vielleicht in einer fehlerhaften Gestalt, die er der Erde beigelegt hätte, zu suchen sein dürften. Nachdem er daher, die Picardsche Gradmessung zum Grunde legend, den Halbmesser der Erde berechnet hatte, fand er seine Vermu-

thung bestätigt, und war nunmehr überzeugt, dafs eine und dieselbe Anziehungskraft durch das ganze Universum verbreitet sei. Newton gab sich jetzt diesen Untersuchungen mit so anhaltendem Eifer hin, dafs er schon im August 1684. Halley'n, der ihn in Cambridge besuchte, das Manuscript seines Werkes „*Philosophiae naturalis principia mathematica*" vorlegen konnte. Im April 1686. wurde dies Manuscript der Societät, nachdem sie wiederholentlich um dasselbe gebeten hatte, übersandt, und sofort auf Kosten derselben zum Drucke bestimmt, der im Mai 1687. beendigt war. Den Inhalt dieses Werkes, das in der Geschichte der Wissenschaften immer als das bewunderungswürdigste genannt werden wird, auch nur mit einiger Ausführlichkeit anzugeben, ist hier nicht der Ort. Der Beweis der sogenannten Keplerschen Gesetze; die Dichtigkeit der Sonnenmasse, die Newton viermal geringer, als die der Erde findet; die Dichtigkeit der Planeten, in deren Gefolge sich Monde befinden; die Gestalt der Erde, für welche er das Verhältnifs des Polar-Durchmessers zu dem des Aequators, wie 229 : 230 berechnet; die Ursache der Ebbe und Fluth, wobei er ermittelt, dafs die Anziehungskraft des Mondes eine Fluth von 8,63 Fufs, und die der Sonne eine Fluth von 1,93 Fufs bewirken müsse; die Dichtigkeit des Mondes, die er gröfser, als die der Erde, nämlich so findet, dafs beide sich wie 11 : 9 verhalten; die Variation und jährliche Gleichung des Mondes; die Ursache des Vorrückens der Aequinoktial-Punkte; endlich die Bahn der Kometen — dies ungefähr sind die astronomischen Gegenstände, mit denen sich Newton in jenem Werke beschäftigt. Er hat also nicht etwa blofs, dem sonst gewöhnlichen Entwickelungsgange einer Wissenschaft gemäfs, die ersten Grund-

züge der physischen Astronomie — dieser schwierigsten Wissenschaft, zu der sich unser Geist erheben kann, indem sie keine andere Forderung an uns stellt, als den Plan, nach welchem der Allmächtige das Universum anordnete, nach seinen Gründen zu erforschen — entworfen, sondern sie der Vollendung nahe gebracht. Wer nur eine Ahnung hat von der Bedeutung der Aufgabe, die Newton sich gestellt hatte, eine Ahnung von der, allem irdischen Treiben entrückten Erhabenheit solcher Gedanken, und nicht von der höchsten Achtung gegen den unvergleichlichen Scharfsinn dieses Mannes erfüllt wird, der hat wahrlich nie seinen Geist zur Höhe wissenschaftlicher Bestrebung erheben können.

Von seinen mathematischen Arbeiten hat Newton selbst wenig veröffentlicht; sie sind gröſstentheils durch Andere, sogar erst nach seinem Tode dem Drucke übergeben worden. Nachdem er schon vor 1666. die Giltigkeit des binomischen Satzes für gebrochene und negative Exponenten [1]) gefunden hatte, wurde er, durch die Anwendung desselben auf die Quadratur der Flächen und die Rektifikation der Kurven, auf seine Methode der Fluxionen geleitet, die er aber nicht sogleich bekannt machte. Eine Abhandlung „*Analysis per aequationes, numero terminorum infinitas*“, [2]) in welcher er die Anwendung jener Methode zeigt, hatte er zwar schon im Jahre 1669. Barrow'n überreicht, durch den sie Collins erhielt; sie fand sich aber nicht eher, als nach dem Tode des letzteren unter seinen Papieren wieder vor, und wurde daher erst im Jahre 1711.

1) Für ganze positive Exponenten hatte diesen Satz der bekannte Deutsche Mathematiker Stiffel in seiner „*Arithmetica*“ schon im Jahre 1544. bewiesen.

2) *Opuscula*, tom. I, pag. 3. sqq.

mit Zustimmung Newton's gedruckt. Dieser selbst deutet auf das Princip der Fluxions-Rechnung zum ersten Male in der ersten Ausgabe der „*Principia*" in dem zweiten Lemma des zweiten Buches hin, auch fügte er selbst den „*Tractatus de quadratura curvarum*",[1]) worin er die Methode der Fluxionen befolgt, zugleich mit einer anderen Abhandlung „*Enumeratio linearum tertii ordinis*"[2]) der ersten Ausgabe der „Optik" vom Jahre 1704. hinzu, und es sind diese Schriften unter den mathematischen die einzigen, die Newton aus eigenem Antriebe drucken liefs. Die kleine Abhandlung „*Methodus differentialis*"[3]) wurde nicht von ihm selbst, sondern nur mit seiner Bewilligung im Jahre 1711. bekannt gemacht; eine andere „*Methodus fluxionum et serierum infinitarum, cum ejusdem applicatione ad curvarum geometriam*",[4]) die er schon im Jahre 1672. begonnen hatte, wurde erst nach seinem Tode durch John Colson, Professor der Mathematik in Cambridge, im Jahre 1736. herausgegeben. Die „*Arithmetica universalis*", worin die Vorlesungen, die Newton in Cambridge über die Algebra gehalten hatte, mitgetheilt werden, liefs Whiston im Jahre 1707., die „*Geometria analytica*" aber Horsley in der Ausgabe der sämmtlichen Werke Newton's sogar erst im Jahre 1779. drucken.

Am glänzendsten bewies sich das mathematische Talent Newton's durch die schnelle Auflösung zweier schweren Probleme, von denen das eine von Johann Bernoulli im Jahre 1697. den „scharfsinnigsten Mathematikern der ganzen Erde", das andere von Leib-

1) *Opuscula*, tom. I, pag. 208. sqq.
2) *Ibid.*, pag. 247. sqq.
3) *Ibid.*, pag. 273. sqq.
4) *Ibid.*, pag. 31. sqq.

nitz im Jahre 1716. gegeben wurde. Das erstere betraf die Brachystochrone. Schon den folgenden Tag, nachdem Newton von der Aufgabe in Kenntnifs gesetzt war, schickte er die Auflösung an Karl Montague, den Präsidenten der Societät. Bei der Cykloide hatte er die Eigenschaft, diejenige Kurve zu sein, in deren Bogen ein schwerer Körper in der möglichst kürzesten Zeit fällt, gefunden. Die von Leibnitz gegebene Aufgabe betraf die Trajektorien. Newton, damals schon bei der Münze angestellt, erhielt, als er ermüdet nach Hause kam, um fünf Uhr Nachmittags die Aufgabe, und brachte ihre Lösung noch denselben Tag zu Stande.

Obgleich Newton'n, selbst unter den ausgezeichneten Mathematikern der damaligen Zeit, einstimmig die erste Stelle eingeräumt wird, so konnte er sich dennoch nicht zur Veröffentlichung seiner mathematischen Arbeiten entschliefsen, und zwar aus keinem anderen Grunde, als weil sie ihm nicht vollendet genug zu sein schienen. Ein von aller Eitelkeit so weit entfernter Mann ist unfähig, ein fremdes Verdienst sich aneignen zu wollen. Um so beklagenswerther ist daher die Leidenschaftlichkeit, mit der Leibnitz die Priorität der Entdeckung des Infinitesimal-Kalkuls für sich in Anspruch nahm. Newton würde diesem bekannten Streite, der die letzten Decennien seines Lebens sehr verkümmerte, gewifs entgangen sein, wenn ihn nicht eine zu grofse Bescheidenheit von einer rechtzeitigen Veröffentlichung seiner Entdeckungen zurückgehalten hätte. Selbst die „*Principia*" würde er ohne die dringendste Aufforderung der Societät nicht bekannt gemacht haben.

Bis zum Jahre 1687., in welchem das eben genannte Werk erschien, war die Thätigkeit Newton's

ausschliefslich den Wissenschaften gewidmet gewesen, als ihn folgendes Ereignifs in den Strudel der politischen Partheikämpfe trieb. Der König Jakob II., dem katholischen Glaubensbekenntnisse geneigt, verlangte damals von der Universität Cambridge, dafs sie einem unwissenden Benediktiner-Mönch gegen alle hergebrachte Ordnung den Grad eines Magisters ertheilen solle. Als die Universität die Verletzung ihrer Statuten gegen diesen Befehl geltend machen wollte, wurde ihr angedeutet, dafs sie sogar einem Bekenner des Islam, einem Sekretär des Gesandten von Marokko, dieselbe Würde habe zu Theil werden lassen, dafs sie folglich nicht eine Kränkung ihrer Rechte darin sehen könne, wenn der König eben diese Auszeichnung für einen Christen in Anspruch nehme. Die Universität aber, wohl einsehend, wie folgenlos das, was sie zu Ehren eines Fremden gethan hatte, bleiben mufste, wie folgenreich dagegen die gesetzwidrige Aufnahme eines Einheimischen in ihre Korporation werden konnte, sandte, um die Zurücknahme des Befehls zu erbitten, eine Deputation von neun ihrer Mitglieder an den König. Zu derselben gehörte auch Newton, und es war vornehmlich die besonnene und unerschütterliche Festigkeit dieses Mannes, der die Universität die Aufrechthaltung ihrer Statuten zu verdanken hatte. So geschah es denn, dafs er, als Vertreter der Universität Cambridge, im Jahre 1688. ins Parlament geschickt wurde. Seinen eigentlichen Berufsgeschäften, die er bis dahin mit seltener Gewissenhaftigkeit verwaltet hatte, wurde er dadurch selbst noch für das folgende Jahr entzogen; in den Jahren 1690. bis 1695. aber war er, wie aus noch vorhandenen Dokumenten der Universität hervorgeht, nur selten von Cambridge abwesend.

In diese Zeit fällt ein Ereignifs, das einen tief erschütternden Eindruck auf Newton gemacht haben soll, auf welches man aber erst seit kurzem, nachdem van Swinden [1]) in einer der von Huygens zurückgelassenen und ungedruckt gebliebenen Schriften desselben ausführlich erwähnt gefunden hat, aufmerksam geworden ist. Als Newton nämlich, der den Besuch der Kirche nie ohne triftige Gründe zu versäumen pflegte, an einem Herbstmorgen — aus der von Huygens gegebenen Nachricht läfst sich entnehmen, dafs dies im November 1692. geschehen sei — aus der Kapelle nach Hause zurückkam, und hier fand, dafs sein Lieblingshündchen ein Licht, welches brennend auf einem Tische, auf dem sich viele Schriften befanden, stehen blieb, umgeworfen hatte, und dafs so die Papiere, ohne weiteren Schaden anzurichten, verbrannt waren: soll der Schrecken über die Gröfse des Unglücks, welches hätte entstehen können, und der Schmerz über den Verlust der Schriften Newton'n in einem solchen Grade ergriffen haben, dafs er nicht allein während einer Zeit von mehr, als zwei Jahren sehr kränklich wurde, sondern dafs sogar die Schwächung seiner Geisteskraft in periodische Geistesverwirrung überging. Da er jedoch in eben jener Zeit seine Briefe [2]) „Ueber das Dasein Gottes" an Bentley schrieb, er selbst überdies in einem an Pepys, den Sekretär der Admiralität, in derselben Zeit gerichteten Briefe [3]) nur über einen Mangel an seiner frühe-

1) So erzählt dies Biot in der *Biographie universelle*. Van Swinden, Professor der Mathematik am Athenäum in Amsterdam, starb im Jahre 1823.

2) In der Ausgabe der sämmtlichen Werke Newton's von Horsley. London, 1779., tom. IV, pag. 430—442.

3) Brewster's „Leben Newton's", pag. 192.

ren Geistesfestigkeit, und grofse Zerstreutheit (*embroilment*) klagt: so scheint jenes von Huygens überlieferte Gerücht nicht frei von Uebertreibung zu sein. Dahin wenigstens stimmen alle Nachrichten überein, dafs der kränkliche Zustand Newton's nur vorübergehend gewesen sein könne.

Bisher war Newton'n, den schon damals nicht blofs England, sondern alle gebildeten Völker der Erde ihren Stolz und ihre Zierde nannten, noch kein Zeichen der öffentlichen Dankbarkeit zu Theil geworden. Während die Männer, die in Cambridge eine gleiche Würde mit ihm bekleidet, in träger Geistesschlaffheit aber nicht das Mindeste zur Erweiterung menschlicher Erkenntnifs gethan hatten, sich in einträgliche Aemter der öffentlichen Verwaltung oder der Kirche einzuschleichen wufsten, war Newton, auf das Gehalt seiner Professur beschränkt, selbst Nahrungssorgen blofsgestellt gewesen. Denn in welcher Dürftigkeit er gelebt habe, läfst sich schon daraus entnehmen, dafs ihm noch im Jahre 1675. die wöchentliche Steuer eines Schillings seiner „schlechten Umstände wegen, wie er angebe" erlassen werden mufste.[1])

Erst als Newton sein drei und funfzigstes Lebensjahr angetreten hatte, wurde er durch die Gunst eines hochgestellten Mannes aus dieser bedrängten Lage in ein eben so einträgliches, als ehrenvolles Amt versetzt. Dieser Ehrenmann, der Fleifs und Talent zu belohnen sich bestrebte, war Karl Montague, Graf von Halifax. Als er nicht sowohl durch seine vornehme Geburt, als vielmehr durch hervorragende Talente im Jahre 1694. Kanzler des Finanz-Kollegiums geworden war, fafste er den Plan, die Münze in Eng-

1) Brewster's „Leben Newton's", pag. 197.

land, die sehr verfälscht war, umprägen zu lassen, zu dessen Verwirklichung ihm Niemand geeigneter, als Newton zu sein schien. Da gerade damals das Amt eines Münz-Aufsehers erledigt war, so trug er daher dasselbe Newton'n an, der freudig diese Gelegenheit, seine äufsere Lage zu verbessern, ergriff. Wie sehr dieser aber die Erwartungen Montague's gerechtfertigt habe, geht daraus hervor, dafs er schon im Jahre 1699. zum höchsten Vorstande des gesammten Münzwesens, mit einem Gehalte von funfzehnhundert Pfund erwählt wurde. Erst damals übergab er alle Einkünfte der Professur in Cambridge an seinen Nachfolger Whiston, der schon, so lange Newton in der untergeordneten Stellung eines Münz-Aufsehers gewesen war, und sich daher einen Theil der Einkünfte jenes Amtes vorbehalten mufste, die Geschäfte desselben versehen hatte. Die Societät fand sich übrigens durch die Beförderung eines ihrer Mitglieder in eine so ehrenvolle Laufbahn so sehr befriedigt, dafs sie am 30. November 1695. Montague'n zum Präsidenten wählte, ihm auch in den beiden folgenden Jahren diese Auszeichnung erwies.

In demselben Jahre, in welchem sich Newton an die Spitze des Münzwesens gestellt sahe, wurde ihm auch die seltene Ehre zu Theil, einer der wenigen Ausländer zu sein, die zu Mitgliedern der Akademie der Wissenschaften zu Paris, die damals gerade eine von der Regierung vorgeschriebene, und unter deren besondere Obhut gestellte Verfassung erhalten hatte, ernannt wurden. Nachdem er überdies im Jahre 1701. von neuem zum Mitgliede des Parlaments für die Universität Cambridge erwählt worden war, wurde er im Jahre 1703. Präsident der Societät, in welcher Stellung er bei jährlich erneuerter Wahl bis an seinen

Tod blieb. Auch ehrte die Königinn Anna, als sie im Jahre 1705. Cambridge besuchte, die Würde eines Ritters dadurch, dafs sie dieselbe an Newton ertheilte.

So schien sich denn alles vereinigen zu wollen, um das herannahende Alter des grofsen Mannes zu verherrlichen, und ihn für die Kränkungen, die ihm entweder die Rücksichtslosigkeit derer, die an dem Ruder der Regierung standen, oder der Neid seiner Nebenbuhler zugefügt hatten, zu entschädigen. Denn auch unter der Regierung Georg I., des Nachfolgers der Königinn Anna, würdigte die königliche Familie den berühmten Gelehrten einer solchen Aufmerksamkeit, dafs die Prinzessinn von Wales, nachmalige Königinn von England, häufig die Stunden ihrer Mufse der Unterhaltung mit ihm über die höchsten wissenschaftlichen Interessen widmete.

Aber noch in seinem späten Alter sollte Newton die unangenehmen Folgen, die der Leichtsinn bei einem gegebenen Versprechen herbeiführen kann, in vollem Maafse empfinden. Als er einst gegen die Prinzessinn seiner chronologischen Studien gedacht hatte, und von derselben aufgefordert war, ihr seine hierauf bezüglichen Papiere zu überreichen, that er dies mit der Bitte, dieselben Niemandem mittheilen zu wollen, weil er nicht wünschen könnte, dafs diese seine unvollendete Arbeit bekannt würde. Der Prinzessinn schienen indefs die Resultate, die Newton gefunden hatte, von solcher Wichtigkeit zu sein, dafs sie ihn ersuchte, dies wenigstens zu gestatten, dafs der Abbé Conti, der sich damals in London aufhielt, eine Abschrift des Manuscriptes machen dürfe. Newton willigte zwar hierin ein, jedoch mit der gegen den Abbé aufs bestimmteste ausgesprochenen Bedingung, dafs er die

Abschrift für sich allein behalte, welches Versprechen auch Conti, so lange er in London blieb, erfüllte. Als er aber nach Paris zurückgekehrt war, theilte er das Manuscript dem Alterthumsforscher Freret mit, der sich bei den Voraussetzungen Newton's und den aus ihnen gefolgerten Resultaten so wenig beruhigen konnte, daſs er nicht bloſs das Manuscript, sondern auch die Bemerkungen, die er dagegen geschrieben hatte, ohne sich selbst als den Herausgeber zu nennen, drucken lieſs.[1]) So sahe sich Newton um so mehr genöthigt, die Wortbrüchigkeit Conti's öffentlich zur Sprache zu bringen,[2]) da Freret ihn miſsverstanden hatte. — Ich übergehe die Streitigkeiten, in welche Newton hierdurch von neuem verwickelt wurde, und will nur noch anführen, daſs er in Folge derselben ein gröſseres Werk[3]) verfaſste, welches aber erst nach seinem Tode im Jahre 1728. erschien.

Ich habe endlich noch der theologischen Studien Newton's zu erwähnen, die nicht etwa, wie Biot behauptet hat, erst damals begannen, als nach dem oben erwähnten Vorfalle eine sichtbare Abnahme seiner Geisteskraft bemerkbar wurde, sondern, wie Brewster aus einem Briefe Newton's vom 7. Febr. 1691. folgert,[4]) ihn schon früher beschäftigt hatten. Wenn auch Brewster bemüht ist, selbst in diesen Arbeiten, von denen ich nur die „Bemerkungen über die Prophezeihungen Daniels und der Apokalypse",[5]) die

1) Unter dem Titel: *Abrégé de chronologie de M. le chevalier Newton, fait par lui-même, et traduit sur le manuscrit Anglais.*

2) *Philos. Transactions*, vol. XXXIII, No. 389., pag. 315. sqq.

3) *The Chronology of ancient Kingdoms amended*, in der Ausgabe von Horsley im fünften Bande.

4) Im „Leben Newton's", pag. 229.

5) *Opuscula*, tom. III, pag. 283. sqq.

erst im Jahre 1733. in London erschienen, nennen will, die ungemeine Verstandesschärfe Newton's nachzuweisen: so läfst sich dennoch nicht leugnen, dafs es für den Ruf des grofsen Mannes besser gewesen wäre, wenn man sie nie veröffentlicht hätte. Muthmafsungen, die das, was ihnen an Glaubwürdigkeit mangelt, nicht einmal durch die Angemessenheit und Schönheit der Bildersprache, in welche sie eingekleidet werden, ersetzen können, befriedigen weder den Verstand, noch die Phantasie. Ich übergehe daher eine nähere Erörterung dieser Schriften, um noch Einiges über die Umstände, welche den Tod Newton's begleiteten, hinzuzufügen.

Seit 1707. erfreute sich Newton der Pflege seiner Nichte Katharina Barton, Witwe des Obersten Barton, die ungeachtet ihrer abermaligen Vermälung mit Conduit, demselben, dem wir viele Mittheilungen über das häusliche Leben Newton's zu verdanken haben, dennoch nicht das Haus ihres Oheims verliefs. Ihrer Sorgfalt gelang es zwar, sein Alter vor Krankheiten, die aus fehlerhafter Diät zu entstehen pflegen, zu schützen: bei aller Vorsicht vermogte sie jedoch nicht, andere Zufälle, die einen baldigen Tod befürchten liefsen, von dem Leben des theuern Mannes, seitdem er in sein achtzigstes Jahr getreten war, abzuhalten. Seit dem Jahre 1722. stellten sich Stein-Beschwerden bei ihm ein, die bald so heftig wurden, dafs sie ihm nur wenige schmerzlose Stunden übrig liefsen. Als sich hierzu im Jahre 1725. noch Brustleiden gesellten, verlegte er auf den Rath seiner Aerzte seinen Aufenthalt nach Kensington, wo sich sein Zustand allerdings so sichtbar besserte, dafs er sich kräftig genug fühlte, den 28. Febr. 17$\frac{26}{27}$. nach London reisen zu können, um einer Sitzung der Societät beizuwoh-

nen. Die hiermit verbundene Anstrengung hatte jedoch so nachtheilig auf ihn gewirkt, dafs er in einem hoffnungslosen Zustande nach Kensington zurückkehrte. Einige Tage nachher, den 20. März $17\frac{26}{27}$., bald nach Mitternacht, unterlag er, fünf und achtzig Jahre alt, dem Gesetze der Natur, die sich gegen ihn so wohlthätig, wie gegen wenige andere Sterbliche erwiesen hatte. Sein Leichnam wurde nach London gebracht, und in der Westminster-Abtei unter allgemeiner Trauer begraben. Denn wie grofs die Achtung gewesen sei, in der Newton stand, läfst sich auch daraus folgern, dafs der Lord Ober-Kanzler, die Herzöge von Roxburgh und Montrose, und die Grafen von Pembroke, Sussex und Macclesfield, die Mitglieder der Societät waren, es sich zur Ehre anrechneten, die Zipfel des Leichentuches zu tragen. Das Denkmal,[1]) welches ihm seine Verwandten im Jahre 1731. setzten, besteht in einem Sarkophage, auf welchem er, umge-

1) Es hat bekanntlich die Inschrift:
Hic situs est
Isaacus Newton, Eques Auratus,
Qui, animi vi prope divina,
Planetarum motus, figuras,
Cometarum semitas Oceanique aestus,
Sua Mathesi facem praeferente,
Primus demonstravit.
Radiorum lucis dissimilitudines,
Colorumque inde nascentium proprietates,
Quas nemo antea vel suspicatus erat, pervestigavit.
Naturae, Antiquitatis, S. Scripturae,
Sedulus, sagax, fidus Interpres,
Dei Opt. Max. Majestatem philosophia asseruit,
Evangelii simplicitatem moribus expressit.
Sibi gratulentur Mortales, tale tantumque extitisse
Humani Generis Decus.
Natus XXV. Decemb. MDCXLII. Obiit XX. Mart. MDCCXXVII.

ben von Emblemen, die auf seine Entdeckungen hindeuten, mit einem Ellenbogen auf Schriften gestützt, in liegender Stellung gebildet ist. Ein anderes Denkmal[1]) wurde ihm von Robert Smith, dem bekannten Verfasser des *Compleat System of Optics*, in der Vorhalle des Trinity-Kollegiums im Jahre 1755. errichtet. Es ist ein marmornes Standbild, in Lebensgröfse und den Blick zum Himmel gerichtet.

Dafs ein Mann auf einer solchen Höhe der Bildung, wie Newton, auch durch einen unbescholtenen Wandel, und durch die Würde des Benehmens, die er im geselligen Leben zu behaupten wufste, seinen Zeitgenossen als ein Muster vorleuchtete, wird man nicht anders erwarten. Die heilige Schrift war für ihn nicht blofs eine Quelle tiefer Forschungen gewesen, sondern er hatte sich aus derselben auch eine christliche Gesinnung anzueignen gewufst. Seine Mildthätigkeit gegen Hilflose kannte, seitdem er in eins der einträglichsten Aemter des Landes gesetzt war, keine Grenzen. Dabei war er der anspruchloseste Gelehrte, den die Geschichte kennt; nie sprach er von seinen eigenen Verdiensten, eine grofse Freude aber gewährte es ihm, die Verdienste Anderer loben zu können. „Ich weifs nicht", sagte er einst, „wie ich der Welt erscheine; mir selbst aber komme ich vor, wie ein Knabe, der am Meeresufer spielt, und sich damit belustigt, dann und wann einen glatten Kiesel oder eine schönere Muschel, als gewöhnlich, zu finden, während der grofse Ocean der Wahrheit unerforscht vor ihm liegt." Bei aller dieser Anspruchlosigkeit beachtete er dennoch

1) Es hat die Inschrift:
Qui genus humanum ingenio superavit.

die von der jedesmaligen Stellung, in welche er sich in der bürgerlichen Gesellschaft versetzt sahe, unzertrennlichen Verhältnisse. Als Vorstand des gesammten Münzwesens umgab er sich mit einer so zahlreichen Dienerschaft, und einem so glanzvollen Haushalte, daſs es Erstaunen erregte, einen Gelehrten, der erst vor einigen Jahren die Einsamkeit seines Studir-Zimmers verlassen hatte, sich mit so viel Geschmack in der vornehmen Welt benehmen zu sehen. Dessenungeachtet waren seine Einkünfte so bedeutend, daſs er seinen Erben ein Vermögen von 32000 Pfund hinterlassen konnte. Die Kleidung seines Körpers, der die mittlere Gröſse nicht überstiegen haben soll, war stets einfach, ohne jemals vernachlässigt zu sein.

Man durfte erwarten, daſs ein Mann, der zuerst den Plan, nach welchem der Allmächtige das Universum anordnete, vor unseren Augen enthüllte, der überdies die Mathematik und Optik mit den glänzendsten Entdeckungen bereicherte, mit allgemeiner Uebereinstimmung auf den Gipfel menschlicher Gröſse für immer gestellt werden würde. Daſs dem nicht so ist, daſs man seinen Namen noch in unseren Tagen gemiſshandelt, daſs man ihm, namentlich im Betreff seiner optischen Forschungen, die Absicht untergelegt hat, die Wahrheit, die er wohl kannte, zu Gunsten einer Chimäre, die er nicht aufgeben wollte, unterdrückt zu haben: diese, die Verdienste und den Charakter Newton's aufs härteste verunglimpfenden Anschuldigungen machen es mir um so mehr zur Pflicht, seinen Untersuchungen Schritt für Schritt zu folgen, und mit Unbefangenheit zu prüfen, ob sich zu einer solchen Herabwürdigung des Mannes auch nur die entfernteste Veranlassung finden läſst.

Das Sonnenlicht ist nicht einfach, sondern aus den prismatischen Farben zusammengesetzt, von denen eine jede ihr eigenes Brechungsverhältnifs hat.

Man würde vergebens bemüht sein, sich von der Wahrheit dessen, worauf es in der Newtonschen Farbenlehre eigentlich ankommt, von der verschiedenen Brechbarkeit des Lichtes, zu überzeugen, wenn man nicht vor allem durch die Hilfe der Mathematik die Frage entscheiden wollte, ob in dem, von einer vertikalen Ebene aufgefangenen Sonnenbilde (Spektrum), das durch Brechungen in einem Prisma, die auf beiden Seiten desselben gleich sind, entstanden ist, eine Abweichung von der Kreisgestalt dem Auge bemerkbar werden könne. Es läfst sich diese Frage durch eine kurze Rechnung beantworten, die ich, um mich nachher auf die Resultate derselben berufen zu können, allem Uebrigen voranschicken will.

Es ist bekannt, dafs, wenn ein horizontal gestelltes Prisma langsam um seine Achse gedreht wird, das Sonnenbild auf einer vertikalen Ebene erst sinkt, und dann steigt, dafs es, bei dem Uebergange aus der einen Richtung der Bewegung in die andere, einige Zeit hindurch seinen Ort unverändert beibehält, und schon bei der Annäherung an diese Stelle sich langsamer, als in weiterer Entfernung von derselben bewegt. Diese Erscheinung, der Newton zuerst eine gröfsere Aufmerksamkeit widmete, war es insbesondere, die ihn auf seine Entdeckung leitete. Da sich nämlich alle Gröfsen nur unmerklich ändern, sobald sie sich ihrem Maximo oder Minimo nähern, wenn auch die Veränderlichen, von denen sie abhängen, ununterbrochen auf dieselbe Weife zu- oder abnehmen: so schlofs er, dafs auch der Winkel, um welchen die einfallenden Stralen

durch die Brechung im Prisma aus ihrer Richtung abgelenkt werden, für jene Stelle des Spektrums ein Maximum oder Minimum sein müsse, und entschied so, indem er die Bedingung, unter der ein solcher Werth jenes Winkels eintritt, fand, auf einem freilich viel mühsameren Wege, als die Anwendung der Differential-Rechnung ihn nöthig macht, die oben aufgestellte Frage.[1])

Es sei (Fig. 1.) ACB der Durchschnitt eines horizontalen Prisma mit abwärts gekehrtem brechenden Winkel C, durch welches der aus der Sonne S kommende Stral SD durch die Seiten AC und BC in den Richtungen DE und EF zweimal aufwärts gebrochen wird. Der Einfallswinkel SDI, gebildet von dem einfallenden Strale SD und dem Einfallslothe IH des Punktes D, werde mit p, der zugehörige Brechungswinkel HDE mit q, der Einfallswinkel HED des Punktes E mit r, der Brechungswinkel FEK mit s, der Winkel FGL endlich, dessen Spitze G der Punkt ist, in welchem sich der verlängerte einfallende und ausgehende Stral schneiden, mit x bezeichnet, so hat man:

$$(1)\quad x = GDE + DEG = p - q + s - r,$$

und da $q + r = C$,

$$(2)\quad x = p + s - C.$$

Ist nun x ein Maximum oder Minimum, so ist sein erstes Differential gleich Null; welchen von beiden Werthen es aber für die oben angegebene Lage des Spektrums habe, läfst sich erst durch das Vorzeichen des zweiten Differentials entscheiden, das bekanntlich, wenn es positiv gefunden wird, auf einen kleinsten, und wenn es negativ ist, auf einen gröfsten Werth

1) *Lectiones opticae* in dem zweiten Theile der *Opuscula*, pag. 81. sqq.

jenes Winkels hindeutet. Es ist daher für ein Maximum oder Minimum des Winkels x aus (2):

$$(3)\ \partial p = -\partial s,$$

folglich aus (1):

$$(4)\ \partial q = -\partial r.$$

Drückt man ferner das Brechungsverhältnifs aus Luft in Glas durch n aus, so hat man für jeden Werth der Winkel p und s:

$$(5)\ \sin p = n \sin q,$$

$$(6)\ \sin s = n \sin r, \text{ daher}$$

$$(7)\ \partial p = \frac{n \cos q\, \partial q}{\cos p}, \text{ und}$$

$$(8)\ \partial s = \frac{n \cos r\, \partial r}{\cos s},$$

folglich aus (4) und (7) für einen gröfsten oder kleinsten Werth von x:

$$(9)\ \partial s = -\frac{n \cos r\, \partial q}{\cos s} = -\frac{\cos p \cos r\, \partial p}{\cos q \cos s},$$

und aus (3):

$$(10)\ \cos p \cos r = \cos q \cos s.$$

Es ist aber auch aus (5) und (6):

$$\cos p = (1 - n^2 \sin^2 q)^{\frac{1}{2}},$$

$$\cos s = (1 - n^2 \sin^2 r)^{\frac{1}{2}},$$

daher aus (10):

$$(1 - n^2 \sin^2 q)(1 - \sin^2 r) = (1 - n^2 \sin^2 r)(1 - \sin^2 q),$$

d. h. es ist $q = r$, folglich auch, weil zu gleichen Winkeln im Glase gleiche Winkel in der Luft gehören:

$$(11)\ p = s.$$

Ein Maximum oder Minimum von x kann also nur dann Statt finden, wenn der Winkel, unter dem der Lichtstral in das Prisma einfällt, dem gleich ist, unter welchem er aus demselben austritt.

Nachdem dies Resultat festgestellt ist, wird sich nun die Frage, ob ein Maximum oder Minimum des

Winkels x mit jener Lage des Spektrums zusammenhänge, entscheiden lassen, wenn man, um die Rechnung nicht verwickelter zu machen, das Differential von p als konstant, d. h. die Aenderung dieses Winkels als gleichförmig fortgehend ansieht, unter welcher Voraussetzung aus (2):

$$\partial^2 x = \partial^2 s$$

ist. Aus (9) hat man aber:

$$\partial^2 s = \frac{\cos p \sin r \,\partial p \,\partial r}{\cos q \cos s} + \frac{\sin p \cos r \,\partial p^2}{\cos q \cos s}$$
$$- \frac{\cos p \cos r \sin s \,\partial p \,\partial s}{\cos q \cos^2 s} - \frac{\cos p \sin q \cos r \,\partial p \,\partial q}{\cos^2 q \cos s},$$

und, wenn man erwägt, daſs $\partial p = -\partial s$, $\partial r = -\partial q$, $p = s$, und $r = q$:

$$\partial^2 s = 2 \tang p \,\partial p^2 - 2 \tang q \,\partial p \,\partial q,$$

folglich aus (7):

$$\partial^2 s = 2 \tang p \,\partial p^2 - \frac{2 \cos p \tang q \,\partial p^2}{n \cos q}, \text{ oder}$$

$$\partial^2 s = \partial^2 x = 2 \partial p^2 \left\{ \tang p - \frac{\cos p}{n \cos q} \tang q \right\}.$$

Nun ist aber nicht bloſs $\tang q < \tang p$, weil dem Brechungsgesetze gemäſs $q < p$, sondern auch $\frac{1}{n} < 1$, und $\cos p < \cos q$, daher $\partial^2 x$ positiv, und der Winkel x, wenn das sinkende Spektrum in ein steigendes überzugehen anfängt, in seinem kleinsten Werthe.

Aus allem diesen geht hervor, daſs das Prisma eine bestimmte, und aus der Bewegung des Spektrums leicht zu ermittelnde Lage hat, wenn die Brechungen auf beiden Seiten desselben gleich sind, und deshalb stellte auch Newton alle seine, die prismatischen Farben betreffenden Beobachtungen für diese Lage des Prisma an, zumal da, wie wir bereits gesehen haben, die Rechnungen alsdann am wenigsten verwickelt wer-

den. Auch liefs er die Lichtstralen stets senkrecht gegen die Achse des Prisma einfallen, und fing das Spektrum immer mit einer vertikalen, der Sonne gegenüber stehenden Ebene auf.[1]).

Die Gleichung (3), $\partial p = -\partial s$, bedeutet bekanntlich nichts anderes, als dafs eine kleine Aenderung in dem Winkel p eine eben so grofse in dem Winkel s zur Folge hat, doch so, dafs, wenn p wächst, s abnimmt, und umgekehrt. In ihr liegt daher auch die Beantwortung der obigen Frage, ob dadurch, dafs die Stralen von den beiden entgegengesetzten Enden der Sonnenscheibe auf das Prisma fallen, in der vertikalen Dimension des Spektrums eine merkliche Abweichung von der horizontalen, oder jeder anderen entstehen könne. Sieht man nämlich *SD* als einen vom Mittelpunkte der Sonne kommenden Stral an, und läfst p um einen so kleinen Winkel, wie es der scheinbare Sonnenhalbmesser *SDM* von ungefähr 16′ ist, wachsen: so nimmt s um einen eben solchen Winkel *FEQ* ab; und wird p um denselben Winkel *NDS* von 16′ kleiner, so wird s um einen eben solchen Winkel *FEP* gröfser. Es wird also auch der ganze Winkel *NDM*, der von den aus den beiden entgegengesetzten Enden der Sonnenscheibe kommenden Stralen gebildet ist, von dem Winkel *PEQ*, durch den die vertikale Dimension des Spektrums bestimmt wird, nicht merklich verschieden sein können. Setzt man z. B., wie dies bei einem der Prismen, deren sich Newton bediente, der Fall war,[2]) den brechenden Winkel $C = 62^\circ\ 30'$, und erwägt, dafs $C = q + r = 2q$, folglich aus (5):

1) *Optice, ed. Samuel Clarke. Lausannae et Genevae,* 1740. lib. I, pars 1. exper. 3. pag. 18.

2) *Ibid.*, pag. 20.

$$\sin p = n \sin q = n \sin \frac{C}{2}:$$

so hat man, wenn $n = \frac{3}{2}$:

$$p = s = 51^0\ 5'\ 32''.$$

Läfst man nun den Winkel p um 16′ wachsen, und bezeichnet die Werthe, in welche dadurch die Winkel p, q, r und s übergehen, mit p', q', r' und s': so ist aus (5) und (6), und in Erwägung, dafs $r = C - q$:

$$p' = 51^0\ 21'\ 32'',$$
$$q' = 31^0\ 22'\ 48''$$
$$r' = 31^0\ \ 7'\ 12''$$
$$s' = 50^0\ 49'\ 39''.$$

Nimmt man aber den Winkel p um 16′ kleiner, und bezeichnet die Werthe, die p, q, r und s dadurch erhalten, mit p'', q'', r'' und s'', so ist:

$$p'' = 50^0\ 49'\ 32''$$
$$q'' = 31^0\ \ 7'\ \ 8''$$
$$r'' = 31^0\ 22'\ 52''$$
$$s'' = 51^0\ 21'\ 39''.$$

Der Winkel $s'' - s' = 32'$, den die aus dem Prisma austretenden Stralen bilden, ist also eben so grofs, wie der Winkel $p' - p'' = 32'$ der einfallenden Stralen. Der Umstand, dafs das Licht aus verschiedenen Punkten der Sonnenscheibe auf das Prisma fällt, kann also, wenn die Brechungen auf beiden Seiten desselben gleich sind, keine merkliche Abweichung von der kreisrunden Gestalt bei dem Spektrum zur Folge haben, sondern es mufs vielmehr, wenn sich dasselbe nicht kreisrund, sondern länglich zeigt, eine andere Ursache dieser Erscheinung vorhanden sein. — So viel als Einleitung in die Newtonsche Farbenlehre, zu welcher ich jetzt übergehe.

Schon in den früheren Perioden dieser Geschichte der Optik haben wir gesehen, dafs sich in der ersten

Hälfte des siebzehnten Jahrhunderts, besonders seit der Erfindung der Fernröhre, die Bemühungen der Naturforscher vereinigten, um den Ursprung der Farben zu ergründen, da die Aristotelische Hypothese, daſs die Farben durch eine Mischung von Licht und Finsterniſs, von Weiſs und Schwarz, oder auch durch ein Hindurchscheinen des einen durch das andere entstehen, zur Erklärung der farbigen Säume, welche die Bilder der Fernröhre zeigen, nicht ausreichend zu sein schien. Wir haben dort auch gesehen, daſs Marcus Marci derselben Farben-Theorie, die bald hernach von Newton aufgestellt wurde, nahe gekommen war, daſs er wenigstens die Principien derselben angedeutet hatte. So waren also, als Newton seine Untersuchungen über die Farben begann, bereits manche Vorarbeiten gemacht worden; doch scheint er damals theils seiner beschränkten äuſseren Lage und seiner Jugend, theils des mangelhaften litterarischen Verkehrs wegen, auſser Kepler's und Descartes's Schriften wenig mehr von der optischen Litteratur gekannt zu haben. Daſs ihm wenigstens Marci's Schrift unbekannt war, läſst sich daraus entnehmen, daſs er dieselbe nirgend anführt.

Gleich beim Beginn seiner optischen Untersuchungen war Newton ganz besonders auf die längliche Gestalt des Spektrums aufmerksam geworden. Bei einem Prisma, dessen brechender Winkel 64° betrug, fand sich, wenn die Oeffnung in dem Fensterladen, durch welche das Licht in ein sonst dunkeles Zimmer einfiel, $\frac{1}{4}$ Zoll weit war, und das Spektrum in einer Entfernung von $18\frac{1}{2}$ Fuſs von dem Prisma aufgefangen wurde, die Breite des Spektrums $2\frac{1}{8}$ Zoll, so wie es dem Durchmesser der Sonne gemäſs war, die Länge desselben aber ungefähr $10\frac{1}{4}$ Zoll. Bei dem vorhin er-

wähnten Prisma, dessen brechender Winkel 62°½ hatte, war der Unterschied zwischen der Länge und Breite des Bildes, das gleichfalls in der Entfernung von 18½ Fufs aufgefangen wurde, nicht weniger beträchtlich, indem die Breite, wie bei dem ersteren, 2⅛ Zoll, und die Länge 9¾ oder 10 Zoll hatte. Auch bei anderen Prismen von anderen brechenden Winkeln entsprach zwar die Breite des Bildes stets dem Durchmesser der Sonne, die Länge desselben aber zeigte sich um so gröfser, je gröfser der brechende Winkel war. Eine verschiedene Weite der Oeffnung in dem Fensterladen, ja selbst eine verschiedene Dicke des Prisma an der Stelle, wo das Licht durch dasselbe hindurchging, hatten auf die Länge des Bildes keinen merklichen Einflufs. Nur dann, wenn das Prisma so um seine Achse gedreht wurde, dafs die Brechungen auf beiden Seiten desselben nicht mehr gleich, sondern die austretenden Stralen gegen ihre brechende Seite mehr geneigt waren, nahm die Länge des Bildes um einen oder zwei Zoll zu, und um eben so viel ab, wenn das Prisma um denselben Winkel, wie vorhin, nach der entgegengesetzten Richtung gedreht wurde.[1])

Anfänglich glaubte Newton die Ursache der länglichen Gestalt des Spektrums in der zufälligen Beschaffenheit des Glases, und in den unregelmäfsigen Brechungen in demselben, durch welche die Lichtstralen zerstreut würden, suchen zu müssen. Doch erkannte er bald, dafs, wäre dies der Fall, ein Spektrum, welches durch ein Prisma aufwärts, und durch ein zweites seitwärts gebrochen wird, nunmehr eben so stark in der Breite, wie vorhin in der Länge ausgedehnt, folglich in der Gestalt eines Quadrates er-

1) *Optice*, lib. I, pars 1. exper. 3. pag. 18. sqq.

scheinen müsse; ein Versuch[1]) aber bestätigte dies keinesweges. Denn wenn er die aus der Sonne (Fig. 2.) *S* kommenden Stralen durch eine Oeffnung *F* in dem Fensterladen *EG* auf das Prisma *ABC*, dessen brechender Winkel *C* abwärts gekehrt war, und von diesem auf ein zweites, nahe dahinter gestelltes Prisma *DH*, bei welchem die Ebene *LKH* des brechenden Winkels *K* horizontal war, fallen liefs: so zeigte sich das Sonnenbild keinesweges in der Gestalt eines Quadrates *nrmv*, sondern es war das durch beide Prismen entstandene Bild *rv* nicht breiter, als das Bild *RV* des alleinigen Prisma *ABC*; es hatte jenes nur eine geneigte Lage erhalten, indem das obere Ende *V* des ersten Bildes durch die Brechung in dem zweiten Prisma sich mehr aus seiner Stelle gerückt zeigte, als das untere Ende *R*, und überhaupt die Entfernung *Gg*, um welche irgend eine Farbe *G* zur Seite gelenkt erschien, eben so grofs war, wie die Entfernung *Gs*, um welche sie aus der Richtung des einfallenden Lichtes durch das erste Prisma gehoben wurde. Auch in dem geneigten Bilde waren übrigens die Grenzen der Farben horizontal, indem eine jede Farbe *G*, deren Grenze *GG'* in dem ersten Bilde sei, auf derselben verlängerten Horizontal-Linie *GG'*, ohne also eine stärkere Brechbarkeit nach dem Durchgange durch das zweite Prisma zu zeigen, mit unveränderter Breite in *gg'* erschien. Es war daher auch die Folge der Farben in beiden Bildern dieselbe, und es traten unter ihnen von unten nach oben hin folgende sieben: Roth, Orange, Gelb, Grün, Blau, Indigoblau und Violett besonders hervor. Zum Gelingen dieses ganzen Versuches mufste jedoch, wie

1) *Optice*, lib. I, pars 1. exper. 5. pag. 23.

es sich von selbst versteht, nicht allein der brechende Winkel in beiden Prismen gleich grofs sein, sondern auch der Stral auf das zweite Prisma unter demselben Neigungswinkel gegen die Glasfläche geleitet werden, unter dem er auf das erste einfiel, weil sonst die Wirkung beider Prismen auf das Licht nicht eine völlig gleiche gewesen wäre. Auch mufste der Eintritts- dem Austritts-Winkel bei beiden Prismen gleich gemacht sein.

Nachdem Newton nunmehr noch seine Zweifel, ob die längliche Gestalt des Spektrums nicht dadurch, dafs das Sonnenlicht durch die Brechung im Prisma aus der Richtung, in welcher es einfällt, herausgerückt wird, und dafs es aus verschiedenen Punkten der Sonnenscheibe kommt, veranlafst werden mögte, durch die oben angeführte Rechnung als unbegründet beseitigt hatte, hielt er sich für überzeugt, dafs die Ursache jener Erscheinung nur in der Natur des Lichtes selbst liegen könne, vermöge deren es sich durch die Brechung in Farben zersetzt, von denen eine jede ihr eigenes Brechungsverhältnifs hat, und zwar die violette, die sich mehr, als jede andere, aus der Richtung des einfallenden Lichtes herausgerückt zeigt, das gröfste, die rothe dagegen das kleinste, dafs also die violetten Stralen „mehr brechbar", als die blauen, diese wieder mehr brechbar, als die grünen u. s. w. genannt werden müssen.

Um jeden Zweifel an der Wahrheit seiner Entdeckung nicht sowohl bei sich selbst, als vielmehr bei solchen, die einer mathematischen Prüfung derselben nicht fähig sind, zu entfernen, stellte Newton, der in der Abänderung der Experimental-Untersuchungen so erfindungsreich war, wie es kein anderer Naturforscher vor und nach ihm gewesen ist, noch eine

Reihe anderer Versuche an, unter denen die bemerkenswerthesten folgende sind:

1. Nachdem man ein Stück schwarzer Pappe von oblonger Gestalt durch eine, zwischen den beiden längeren Seiten gezogene Winkelrechte in zwei gleiche Theile getheilt hat, übertünche man den einen derselben mit gesättigtem Blau, den anderen mit gesättigtem Roth, und lege die Pappe auf ein horizontales Fensterbrett so, dafs die längeren Seiten dem Horizonte parallel sind. Bedeckt man hierauf die an das Fenster angrenzende Wand mit schwarzem Tuche, damit nicht von derselben Licht reflektirt werde, das sich, an der Pappe vorbeigehend, in das von dieser zurückgeworfene Licht mischt, und betrachtet jene Farben durch ein Prisma, dessen brechender Winkel aufwärts gekehrt ist: so bemerkt man, dafs der blaugefärbte Theil der Pappe höher, als der rothe gehoben wird. Ist aber der brechende Winkel abwärts gekehrt, so wird im Gegentheil das Blaue tiefer, als das Rothe zu liegen scheinen. In jedem dieser beiden Fälle erleidet also das blaue Licht unter denselben Umständen eine stärkere Brechung, als das rothe, und ist folglich mehr brechbar. [1])

2. Man umwickele die im vorigen Versuche beschriebene Pappe mehrmals mit einem dünnen Faden schwarzer Seide, so dafs die einzelnen Fäden, wie eben so viele über die Farben gezogene schwarze Linien erscheinen. Man könnte diese Linien auch mit einer Feder ziehen, aber die Seidenfäden sind dünner und schärfer begrenzt. Stellt man hierauf, in einem sonst dunkelen Zimmer, dicht vor die vertikal stehende Pappe eine stark leuchtende Flamme, und in

1) *Optice*, lib. I, pars 1. exper. 1. pag. 13.

der Entfernung der doppelten Brennweite eine Linse auf, welche das Bild der Pappe in eben dieser Entfernung auf ein weifses Papier wirft: so erscheint das Bild eines jeden Seidenfadens nicht anders deutlich, als wenn entweder die rothe, oder die blaue Farbe auf beiden Seiten desselben aufs deutlichste hervortritt, und es ist an der Stelle, wo die eine sich deutlich zeigt, die andere immer so undeutlich, dafs man die Bilder der Seidenfäden kaum erkennen kann. Ist die Linse z. B. $4\frac{1}{4}$ Zoll breit, und mufs sie in einer Entfernung von 6 Fufs und 2 Zoll von der Pappe aufgestellt werden, so liegt die Stelle, an welcher die Fäden auf der blauen Farbe deutlich erscheinen, um $1\frac{1}{2}$ Zoll näher an der Linse, als diejenige, an welcher dies bei der rothen der Fall ist. Da also die blauen Stralen früher, als die rothen nach ihrem Austritte aus der Linse konvergiren, so sind sie brechbarer, als diese.[1])

3. Man stelle zwei Prismen (Fig. 3.) *ABC* und *abc* so vor zwei Oeffnungen *F* und *f* in dem Laden eines dunkelen Zimmers, dafs ihre Spektra *RV* und *R'V'* in einer und derselben vertikalen Linie auf der auffangenden weifsen Ebene erscheinen, und das untere rothe Ende *R* des einen von dem oberen violetten *V'* des anderen berührt wird. Bricht man alsdann beide Spektra durch ein drittes Prisma *DH* seitwärts hin, so bemerkt man sie nicht mehr in derselben Linie, sondern in den parallelen Richtungen *rv* und *r'v'*, indem wieder das violette Ende *v'* des einen mehr, als das rothe *r* des anderen aus seiner vorigen Stelle herausgerückt erscheint.[2])

1) *Optice*, lib. I, pars 1. exper. 2. pag. 15.
2) *Ibid.*, exper. 5. pag. 29.

4. Newton hatte in eine jede von zwei Tafeln (Fig. 4.) *DE* und *de* eine runde Oeffnung *G* und *g*, $\frac{1}{3}$ Zoll weit geschnitten, die Oeffnung *F* in dem Fensterladen aber gröfser, als in den früheren Versuchen genommen. Den mittleren Theil des durch *F* reichlicher einfallenden, und von *ABC* gebrochenen Lichtes liefs er durch *G* in der einen, nahe hinter *ABC* befindlichen Tafel *DE* hindurchgehen, und stellte in einer Entfernung von ungefähr 12 Fufs die zweite Tafel *de* so auf, dafs die Mitte der durch *G* hindurchgelassenen Farben auch durch *g* hindurchgehen konnte, das übrige Licht aber von der Tafel *de* aufgefangen wurde. Dieses durch *g* durchgelassene Licht wurde durch ein zweites, nahe hinter *de* befindliches Prisma *abc* zum zweiten Male gebrochen, und hierauf von einer weifsen Ebene *RV* aufgefangen. Indem das erste Prisma langsam um seine Achse gedreht wurde, gingen nach und nach alle Farben des ersten Spektrums durch *g* hindurch. Bemerkte dann Newton die Stellen auf der weifsen Ebene, an denen sich die verschiedenen Farben, nachdem sie alle in einer und derselben Richtung auf das in seiner Lage unveränderte Prisma *abc* gefallen, und in demselben gebrochen waren, zeigten: so fand er, dafs auch jetzt die violetten Stralen eine höhere Stelle *V*, als die rothen in *R* einnahmen, die übrigen Farben aber zwischen *V* und *R* fielen. Und dies geschah, die Achsen der beiden Prismen mogten unter sich parallel, oder gegen einander und gegen den Horizont unter einem beliebigen Winkel geneigt sein.[1])

Mit Recht hält Newton diesen, unter dem Namen des *Experimentum crucis* bekannten Versuch für

1) *Optice*, lib. I, pars 1. exper. 6. pag. 30.

den entscheidendsten, der alle übrigen entbehrlich macht.

5. Auf die Seite (Fig. 5.) *AC* des bei *A* rechtwinkeligen und gleichschenkeligen Prisma *ABC* lasse man das Sonnenlicht durch die Oeffnung *F*, die ungefähr $\frac{1}{8}$ Zoll breit ist, unter rechten Winkeln fallen, so dafs es durch diese Seite ungebrochen hindurchgeht, und an einer Stelle *M* der Grundfläche *BC* zwar gröfstentheils reflektirt, zum Theil aber auch unterhalb *BC* in die Luft gebrochen wird. Die violetten Stralen sein *MV*, die rothen *MR*. Das in *M* zurückgeworfene, und auch durch die Seite *AB* ungebrochen hindurchgehende Licht breche man durch ein zweites Prisma *abc*, und es sein *Nv* die brechbarsten, *Nr* die am wenigsten brechbaren Stralen. Dreht man alsdann das Prisma *ABC* nach der Ordnung dieser Buchstaben langsam um seine Achse, und macht dadurch den Winkel, den die violetten Stralen *MV* mit der Grundfläche *BC* bilden, immer kleiner: so werden diese endlich nach *N* reflektirt. Indem sie sich so mit den Stralen *Nv* vereinigen, zeigt sich das violette Licht in *v* stärker. Fährt man fort, das Prisma zu drehen, so werden zuletzt auch die Stralen *MR* reflektirt, und vermehren das rothe Licht in *r*. Das Licht *MN* nimmt also Stralen von verschiedener Brechbarkeit auf, und ist nichtsdestoweniger von derselben Beschaffenheit, wie das einfallende Licht *FM*, weil dieses durch die völlige Reflexion in *M* keine Aenderung erleiden kann, und die geringe Brechung in der Seite *AC*, die beim Drehen des Prisma entstanden sein könnte, durch die entgegengesetzte in der Seite *AB* aufgehoben wird. Daher besteht auch das Licht *FM* aus Stralen von verschiedener Brechbarkeit. [1])

1) *Optice*, lib. I, pars 1. exper. 9. pag. 37.

Newton änderte diesen Versuch auch dahin ab, dafs er an das Prisma (Fig. 5.) *ABC* ein anderes *BDC* so legte, dafs ein Parallelepiped *AD* entstand, in welchem die Seitenflächen *AC* und *BD* parallel waren, die Brechung also, die das Licht bei seinem Eintritte in *AC* etwa erlitten haben mogte, durch die Seitenfläche *BD* aufgehoben wurde. Brach er hierauf das aus *BD* austretende Licht durch das Prisma *a'b'c'*, wodurch das Spektrum *r'v'* entstand, und drehete er das Parallelepiped so, dafs das Licht in *M* immer stärker reflektirt wurde, und daher die Farben in *r'v'* nach und nach verschwanden: so zeigte sich die Farbe, die hier unsichtbar geworden war, in *rv* lebhafter, und überhaupt dasselbe Resultat, das der vorige Versuch gegeben hatte.[1])

Newton zieht aus beiden Versuchen die Folgerung, dafs die Farben, die „mehr refrangibel" sind, auch „mehr reflexibel" genannt werden könnten.

6. Liefs Newton irgend eine Farbe des Spektrums durch eine sehr kleine und runde Oeffnung, die etwa $\frac{1}{6}$ Zoll breit, und in eine schwarze hölzerne Tafel gemacht war, hindurchgehen, und brach er dieselbe noch einmal durch ein nahe dahinter gestelltes Prisma: so zeigte sich auf einer, die Stralen rechtwinkelig auffangenden weifsen Ebene nicht ein längliches, sondern ein rundes Bild von derselben Farbe.[2]) Eben so erschien, wenn er ein kreisrundes weifses Papier, etwa $\frac{1}{4}$ Zoll im Durchmesser, in irgend eine Farbe des Spektrums, und ein eben solches in das direkte Sonnenlicht hielt, und jedes dieser Papiere durch ein Prisma betrachtete, das erstere in unveränderter Farbe vollkom-

1) *Optice*, lib. I, pars 1. exper. 10. pag. 39.
2) *Ibid.*, exper. 10. pag. 50. sqq.

men rund, das andere aber in oblonger Gestalt, und zwar in der Mitte weifs, und am Rande mit farbigen Säumen. Da überdies, sobald sich zufällig kleine dunkle Gegenstände, wie Fliegen und dergleichen, in einer Farbe des Spektrums befanden, auch die kleinsten Theile derselben durch ein Prisma deutlich erschienen, während dies, wenn das direkte Sonnenlicht auf sie fiel, nicht der Fall war: so schlofs Newton aus diesen Resultaten und denen, welche der zur Fig. 2. gehörige Versuch gegeben hatte, dafs die Stralen, welche durch die Brechung einmal farbig geworden sind, bei wiederholten Brechungen ihre Farben unverändert beibehalten, sich auch nicht, wie das Licht der Sonne, durch die Brechung ausbreiten, dafs man daher jede einzelne Farbe des Spektrums, im Gegensatze des heterogenen Sonnenlichtes, homogen nennen müsse.

Diese Versuche sind es, durch welche Newton seine Lehre von der verschiedenen Brechbarkeit des Lichtes mehr, als es erforderlich ist, begründet glaubte. In der That aber ist auch für jeden, der sich überzeugt hat, dafs weder dadurch, dafs das Licht der Sonne von verschiedenen Punkten derselben kommt, noch dadurch, dafs es durch die Brechung aus der Richtung, in der es einfällt, herausgerückt wird, eine Verschiedenheit in der Länge und Breite des Spektrums entstehen kann, das einzige *Experimentum crucis* hinreichend, um keinen Zweifel an der Wahrheit jener Lehre übrig zu lassen. Rechnet man hierzu, dafs alle aus derselben gezogenen Folgerungen in vollkommenster Uebereinstimmung mit der Erfahrung stehen: so ist klar, dafs sie nicht etwa eine Hypothese,

sondern eine eben so fest begründete Thatsache, wie jedes andere physikalische Grundgesetz ist.

Newton blieb aber nicht blofs dabei stehen, dafs er die verschiedene Brechbarkeit des Lichtes aufser Zweifel setzte, sondern er erkannte auch, dafs man nur dann erst die allerwichtigsten Folgerungen aus dieser Entdeckung werde ziehen können, wenn das Brechungsverhältnifs einer jeden Farbe bestimmt ist, dafs diese Bestimmung jedoch jedenfalls nur eine approximativ richtige sein könne. Denn wäre alles Licht, welches die Sonne aussendet, violett, so würde der Erfolg einer Brechung im Prisma, dessen brechender Winkel abwärts gekehrt ist, kein anderer sein, als dafs man an einer höheren Stelle, als es die Richtung des einfallenden Lichtes erfordert, ein kreisrundes violettes Sonnenbild sehen würde; wäre alles Licht roth, so würde man an einer tieferen Stelle ein eben solches rothes Bild u. s. w. wahrnehmen müssen. Da aber das Spektrum nicht aus Kreisen besteht, von denen ein jeder eine andere Farbe hat, sondern vielmehr an den Seiten unverkennbar gerade, und nur an dem oberen und unteren Ende kreisrund begrenzt ist: so sind in demselben nicht blofs jene sieben, sondern unendlich viele verschiedene Farben enthalten, deren Kreise, damit die Seiten gerade sein können, sich zum Theil decken. Newton fand indessen eine Vorrichtung, um die einzelnen gefärbten Kreise im Spektrum mehr von einander zu sondern, und die Uebergänge der unendlich verschiedenen Farben-Nuancen genauer beobachten zu können, als es bei der Brechung in Prismen möglich ist. Das durch eine gröfsere Oeffnung in das dunkele Zimmer eindringende Sonnenlicht liefs er nämlich in ziemlicher Entfernung durch eine viel

kleinere, in einer Tafel befindliche hindurchgehen, und auf ein nahe vor das Prisma gestelltes Sammelglas fallen. Hatte dann die kleinere Oeffnung z. B. $\frac{1}{10}$ Zoll im Durchmesser, und wurde die Linse mit dem Prisma in einem Abstande von 12 Fuſs von derselben aufgestellt, so muſste die Linse allein ein Sonnenbild von $\frac{1}{12}$ Zoll im Durchmesser geben, wenn es in einer Entfernung von 10 Fuſs hinter derselben aufgefangen wurde. Eben so breit fand er auch das Spektrum, die Länge desselben aber, wenn der brechende Winkel des Prisma 62° hatte, ungefähr 6 Zoll. Es verhielt sich daher die Breite des Spektrums zur Länge desselben, wie $\frac{1}{12} : 6 = 1 : 72$, während bei den früheren Versuchen dies Verhältniſs höchstens 1 : 5 gewesen war. So traten also die einzelnen farbigen Kreise hier mehr aus einander, und gestatteten wenigstens eine genauere Beobachtung der zwischen den Hauptfarben: Roth, Orange, Gelb, Grün, Blau, Indigo und Violett liegenden Grenzen.

Eine noch stärkere Absonderung dieser Farben erhielt Newton dadurch, daſs er nicht bloſs das Licht, ehe es in das Prisma fiel, mit einer Linse auffing, sondern auch der Oeffnung in dem Fensterladen die Gestalt eines Oblonges, oder Dreieckes gab, bei denen die Höhe viel gröſser, als die Grundlinie genommen war. Hatte sie z. B. die Gestalt eines gleichschenkeligen Dreieckes, dessen Grundlinie $\frac{1}{10}$ Zoll, und dessen Höhe wenigstens einen Zoll lang war, und hielt er die Achse des Prisma parallel mit der letzteren: so bestand das Spektrum aus einer zusammenhängenden Reihe von farbigen Dreiecken, in denen die Farben nur an den Grundlinien über einander griffen, an den Spitzen aber mehr gesondert erschienen. Doch fand Newton, daſs man zum vollkommenen Gelingen sol-

cher Versuche nicht allein das Zimmer sehr dunkel machen, sondern sich auch einer von Adern und Blasen freien Linse, und eines eben solchen Prisma, dessen brechender Winkel 65° bis 70° hat, bedienen, und überdies, um alles unnütze Licht abzuhalten, auf die Ecken des Prisma und den Rand der Linse schwarzes Papier aufleimen müsse. Auch zeigten sich Spiegelgläser, die in Gestalt eines Prisma zusammengefügt, und, um die Brechung zu vergröfsern, mit einer Auflösung von Bleizucker in Wasser gefüllt waren, zu diesen Versuchen besonders brauchbar.[1])

Nachdem Newton die Hauptfarben des Spektrums durch solche Vorkehrungen gesondert hatte, liefs er dasselbe auf ein weifses Papier fallen, und sowohl seinen Umfang, als auch die Grenzen einer jeden Farbe durch einen Gehilfen, auf dessen Augenschärfe er sich mehr, als auf seine eigene verlassen zu können glaubte, auf demselben abzeichnen. Nach mehreren wiederholten Versuchen, die alle ein ziemlich übereinstimmendes Resultat gegeben hatten, ergab sich, dafs wenn die Länge (Fig. 6.) *AH* des Spektrums bis *L* verdoppelt, *AL* zur Einheit genommen, und die Linien *AL*, *BL*, *CL*, *DL*, *EL*, *FL*, *GL*, *HL* durch die Zahlen 1, $\frac{8}{9}$, $\frac{5}{6}$, $\frac{3}{4}$, $\frac{2}{3}$, $\frac{3}{5}$, $\frac{9}{16}$, $\frac{1}{2}$ [2]) ausgedrückt werden, in dem Raume *HG* rothes, in *GF* orangefarbenes, in *FE* gelbes, in *ED* grünes, in *DC* blaues, in *CB* indigofarbenes, und in *BA* violettes Licht enthalten ist. Es nimmt hiernach, wenn man das Spektrum in 360 Theile theilt, Roth 45, Orange 27, Gelb 48, Grün 60, Blau 60, Indigo 40 und Violett 80 solcher Theile ein. Denn

1) *Optice*, lib. I, pars 1. exper. 11. pag. 46.

2) Es haben diese Brüche die bemerkenswerthe Eigenschaft, dafs jede zwei, vom Anfange und Ende der Reihe gleich weit entfernte das konstante Produkt $\frac{1}{2}$ geben.

es beträgt z. B. der Raum *HG* des rothen Lichtes $\frac{9}{16} - \frac{1}{2} = \frac{1}{16}$ der Einheit *AL*, folglich $\frac{1}{8}$ der Einheit *AH*, oder wenn dieselbe in 360 Theile getheilt wird, 45 solcher Theile u. s. w. Da die Längen der Saiten, welche in der weichen Tonleiter den Grundton, die grofse Sekunde, die kleine Terze, die Quarte, Quinte, grofse Sexte, kleine Septime und Ober-Oktave angegeben, ungefähr im Verhältnifs der obigen Brüche stehen: so findet Newton hierin eine merkwürdige Uebereinstimmung zwischen der Entstehung der Farben und Töne. Zu Gunsten dieser, bei der unvermeidlichen Unsicherheit in der Bestimmung der einzelnen Farbenräume, unverkennbar erkünstelten Uebereinstimmung geschah es denn auch, dafs er, ungeachtet Blau und Indigo derselben Farbengattung angehören, im Spektrum nicht sechs, sondern sieben Hauptfarben unterschied.[1])

Aus diesen Zahlen konnte Newton nunmehr das Brechungsverhältnifs einer jeden Farbe ableiten, wenn er zuvor den Winkel, den die am meisten und wenigsten brechbaren Stralen mit denen von mittlerer Brechbarkeit am Prisma bilden, bestimmt hatte. Um seinem sinnreichen Verfahren bei der Berechnung dieser Winkel zu folgen,[2]) ziehe man unterhalb der Spitze (Fig. 1.) *C* des brechenden Winkels eine horizontale Linie, die von dem einfallenden Strale *SD* in *L*, und von dem gebrochenen *EF* in *T* geschnitten werde. Beide Winkel, sowohl der bei *L*, als auch der bei *T*, sind bestimmbar, indem der erstere nichts anderes, als die Höhe des Mittelpunktes *S* der Sonne während der Beobachtung ist, der andere aber aus den gemessenen

1) *Optice*, lib. I, pars 2. exper. 7. pag. 90.
2) *Ibid.*, pars 1. prop. 7. pag. 57.

Höhen der Punkte E und F über der Horizontalen TL, und aus der Entfernung des Punktes E von der auffangenden Ebene PQ berechnet werden kann. So fand Newton bei dem Prisma, dessen brechender Winkel $C = 62^\circ\ 30'$ war, die Summe der Winkel $L + T = 44^\circ\ 40'$, wenn T zu den Stralen von mittlerer Brechbarkeit gehörte. Nun ist

$$\angle EGL = L + T = EDG + DEG,$$

folglich, da für $p = s$ (pag. 27.) die Winkel EDG und DEG, so wie die Winkel EDC und DEC gleich sind:

$$\angle EDG = \tfrac{1}{2}(L + T),$$
$$\angle GDC = 90 - p = EDC - EDG = 90^\circ - \tfrac{1}{2}(C + L + T),$$
$$p = \tfrac{1}{2}(C + L + T),$$

daher nach der dort entwickelten Formel $\sin p = n \sin \frac{C}{2}$, worin n das Brechungsverhältnifs aus der Luft ins Glas ist:

$$n = \frac{\sin \frac{1}{2}(C + L + T)}{\sin \frac{C}{2}} = \frac{\sin 53^\circ\ 35'}{\sin 31^\circ\ 15'} = \frac{80472}{51877} = 77\tfrac{1}{2} : 50.$$

Subtrahirt man nun von der Länge des Spektrums, die bei dem oben beschriebenen Versuche mit dem Prisma, dessen brechender Winkel die hier angenommene Gröfse hatte, $9\frac{3}{4}$ bis 10 Zoll betrug, die Breite desselben von $2\frac{1}{8}$ Zoll: so wird der Rest von $7\frac{3}{4}$ Zoll die Länge sein, welche dasselbe Bild haben würde, wenn die Sonnenscheibe ein blofser Punkt S wäre. Diese $7\frac{3}{4}$ Zoll sind also die Sehne eines Winkels, den die am meisten und wenigsten brechbaren Stralen, nachdem sie in einer und derselben Linie SD aufs Prisma gefallen waren, nach ihrem Austritte aus demselben bilden. Da aber das Spektrum $18\frac{1}{2}$ Fufs $= 222$ Zoll von dem Prisma entfernt war, so gehört diese Sehne einem Winkel von 2° an. Die Hälfte

desselben ist folglich der Winkel, den die brechbarsten und am wenigsten brechbaren Stralen mit denen von mittlerer Brechbarkeit bilden. Man mufs also in obiger Gleichung für n den Winkel T um 1°. kleiner, oder gröfser annehmen, während L und C ungeändert bleiben, um das Brechungsverhältnifs für die äufsersten rothen, oder violetten Stralen zu erhalten. Demnach ist bei dem Glase, dessen Newton sich bediente,

für die äufsersten rothen Stralen:

$$n = \frac{\sin 53^0\ 5'}{\sin 31^0\ 15'} = \frac{79951}{51877} = 77 : 50 = 1{,}54 : 1,$$

für die Stralen von mittlerer Brechbarkeit:

$$n = \frac{\sin 53^0\ 35'}{\sin 31^0\ 15'} = \frac{80472}{51877} = 77\tfrac{1}{2} : 50 = 1{,}55 : 1,$$

für die äufsersten violetten Stralen:

$$n = \frac{\sin 54^0\ 5'}{\sin 31^0\ 15'} = \frac{80987}{51877} = 78 : 50 = 1{,}56 : 1.$$

Da sich hieraus also das Brechungsverhältnifs der am wenigsten und meisten brechbaren Stralen beim Uebergange aus dem Glase in die Luft, wie 50 zu 77 und 78 ergeben hat, und man die Räume (Fig. 6.) HG, HF...., nach deren Enden die Schenkel der Brechungswinkel gerichtet sind, die von den äufsersten Stralen einer jeden Hauptfarbe gebildet werden, den kleinen Unterschieden der Brechungs-Sinus dieser Stralen proportional setzen kann: so erhält man endlich das Brechungsverhältnifs einer jeden Hauptfarbe, wenn man die Differenz 1 zwischen jenen beiden Brechungs-Sinus 77 und 78 in demselben Verhältnisse theilt, in welchem AH durch die Punkte G, F.... getheilt wird. Da nun $HG = \frac{AH}{8}$, so wird der Sinus 77 um $\frac{1}{8}$ zu vergröfsern sein, damit er der obersten Grenze G der rothen Stralen angehöre. Da ferner $FH = \frac{AH}{5}$, so

wird man zum Sinus 77 den Bruch $\frac{1}{8}$ addiren müssen, damit er auch die äufsersten orangefarbenen Stralen in F umfasse u. s. w. Man erhält demnach für die Grenzen der sieben Hauptfarben des Spektrums folgende Brechungsverhältnisse aus der Luft ins Glas:[1])

das der rothen zwischen......	$77 : 50 = 1,5400 : 1$	
und......	$77\frac{1}{8} : 50 = 1,5425 : 1$,	
das der orangefarbenen zwischen	$77\frac{1}{8} : 50 = 1,5425 : 1$	
und......	$77\frac{1}{5} : 50 = 1,5440 : 1$,	
das der gelben zwischen......	$77\frac{1}{5} : 50 = 1,5440 : 1$	
und......	$77\frac{1}{3} : 50 = 1,5467 : 1$,	
das der grünen zwischen......	$77\frac{1}{3} : 50 = 1,5467 : 1$	
und......	$77\frac{1}{2} : 50 = 1,5500 : 1$,	
das der blauen zwischen......	$77\frac{1}{2} : 50 = 1,5500 : 1$	
und......	$77\frac{2}{3} : 50 = 1,5533 : 1$,	
das der indigofarbenen zwischen	$77\frac{2}{3} : 50 = 1,5533 : 1$	
und......	$77\frac{7}{9} : 50 = 1,5555 : 1$,	
das der violetten zwischen....	$77\frac{7}{9} : 50 = 1,5555 : 1$	
und......	$78 : 50 = 1,5600 : 1$.	

Wiedervereinigung der prismatischen Farben zu weifsem Sonnenlichte.

Nachdem sich Newton durch die angegebenen Versuche überzeugt hatte, dafs das weifse Sonnenlicht durch die Brechung in unendlich viele verschiedene Farben, von denen eine jede ihr eigenes Brechungsverhältnifs hat, zerlegt werde, zweifelte er nicht, dafs man durch eine Vereinigung aller dieser Farben wieder weifses Sonnenlicht, durch die Vermischung der Hauptfarben aber eine Farbe erhalten müsse, die sich um so mehr der weissen nähert, je näher das Verhältnifs, in dem

1) *Optice*, lib. I, pars 2. exper. 7. pag. 91.

man sie mischt, demjenigen kommt, in welchem sie in dem Sonnenlichte enthalten sind. Die wichtigsten Versuche, die er hierüber anstellte, sind folgende:

1. Das durch ein Prisma (Fig. 7.) *ABC* gebrochene Sonnenlicht leitete er, ehe er es mit einem weissen Papiere auffing, durch ein Sammelglas *MN*, das über vier Zoll breit, und ungefähr sechs Fuſs von dem Prisma entfernt war. Ist nun das Brechungsverhältniſs der violetten Stralen gröſser, als das der rothen, so geht aus der Halleyschen Formel[1]) hervor, daſs der Vereinigungspunkt *V* der violetten Stralen näher an der Linse, als der Vereinigungspunkt *R* der rothen liegen müsse, und daſs nur an einer Stelle *G*, zwischen *V* und *R*, alle im Sonnenlichte enthaltenen Farben sich mischen können. So war also diese Vorrichtung geeignet, nicht allein die verschiedene Brechbarkeit des Lichtes von neuem zu bestätigen, sondern auch die zweite Frage, ob durch die Vereinigung aller prismatischen Farben wieder das weiſse Sonnenlicht entstehe, zu entscheiden. Der Versuch selbst entsprach beiden Folgerungen. Denn hielt Newton das weiſse Papier *de* zwischen der Linse und jener Stelle *G*, die ungefähr sechs Fuſs von derselben entfernt war, so daſs die Achse des aus ihr austretenden Lichtkegels winkelrecht auf das Papier fiel: so zeigte sich die auf demselben erleuchtete Stelle in der Mitte weiſs, an dem oberen Rande in *v* aber violett, und an dem unteren in *r* roth. Je mehr es der Stelle *G* genähert wurde, desto mehr verschwanden diese Farben, bis sich in *G* selbst nur ein kleiner Kreis von weiſsem Lichte bemerken lieſs. Wurde das Papier aber über *G* hin-

1) Th. I, pag. 277.

aus nach $d'e'$ gebracht, so zeigten sich die Ränder wieder farbig, aber jetzt in umgekehrter Ordnung, indem die rothe Farbe, die vorhin die untere war, jetzt oben in r', und die violette, die vorhin die obere war, jetzt unten in v' bemerkbar wurde.[1])

Diesen Versuch änderte Newton in mehrfacher Weise ab. Fing er z. B., nachdem der weiſse Kreis in G fixirt war, die untersten Stralen DT, oder die obersten EP in der Nähe der Linse mit einem Stäbchen auf, so zeigte sich, wenn er den Kreis durch ein Prisma betrachtete, das Roth oder Violett in dem prismatischen Bilde desselben merklich schwächer, als dies geschah, wenn jene Stralen nicht aufgefangen wurden.[2]) Brachte er ferner eine, einem Kamme ähnliche Vorrichtung zwischen die Linse und das Prisma, so daſs ein Theil des auf die erstere fallenden Lichtes durch die Zähne des Kammes aufgefangen wurde: so erschien der Kreis in G nicht weiſs, sondern von der Farbe, die aus den übrigen, nicht aufgefangenen zusammengesetzt war. Wurde der Kamm langsam bewegt, so zeigte sich das Bild in G nach und nach in verschiedenen Farben; wurde er aber sehr schnell bewegt, so war der Kreis in G wieder weiſs, weil alsdann der Eindruck der einen Farbe auf die Netzhaut noch nicht aufgehört hatte, während die übrigen schon folgten. Auch nahm Newton statt der Linse zwei, dicht neben einander gestellte Prismen mit aufwärts gekehrten brechenden Winkeln, wenn der des ersten abwärts gerichtet war. Der entgegengesetzen Brechung wegen vereinigten sich alsdann die durch das

1) *Optice*, lib. I, pars 2. exper. 10. pag. 97.
2) *Ibid.*, pag. 99.

erste Prisma entstandenen Farben wieder zu weifsem Lichte.[1])

2. Da Newton'n in der rothen und grünen Farbe alle übrigen prismatischen enthalten zu sein schienen, so mischte er rothe und grüne Pulver in verschiedenen Verhältnissen mit einander, um zu prüfen, ob es ihm gelingen würde, eine Mischung von weifser Farbe hierdurch zu erhalten; wie er aber auch die Verhältnisse abändern mogte, so liefs sich doch nichts mehr, als ein getrübtes Weifs erreichen. Eine solche graue Farbe zeigte unter anderen eine Mischung von einem Theile Mennige, und fünf Theilen gepulverten Grünspans. Auch bei zusammengesetzteren Mischungen ergab sich kein befriedigenderes Resultat. Denn schüttete er zum gelben Auripigment reinen Purpur so lange, bis jenes aufhörte gelb zu sein, und mischte er hierzu Grünspan und Bergblau in der Art, dafs die Farbe dieser Mischung zu keiner der genannten mehr, als zu der anderen hinzuneigen schien: so war sie etwa die des frisch gehauenen Holzes. Newton ist aber mit Recht weit entfernt, dieser ungenügenden Ergebnisse wegen an der verschiedenen Brechbarkeit des weifsen Lichtes zweifeln zu wollen. Denn dergleichen gefärbte Pulver und Pigmente absorbiren einen grofsen Theil des Lichtes, von dem sie erleuchtet werden, indem sie nur deshalb gefärbt erscheinen, weil sie das Licht, das von ihrer Farbe ist, reichlicher, als anderes zurückwerfen, ja selbst das Licht ihrer eigenen Farbe nicht so reichlich reflektiren, wie dies die weifsen Körper thun. Bringt man z. B. Mennige und weifses Papier in das rothe Licht des Spektrums, so erscheint letzteres in glänzenderem Roth, als die Mennige, so

1) *Optice,* lib. I, pars 2. exper. 10. pag. 102.

dafs selbst die rothen Stralen von jenem lebhafter, als von dieser zurückgeworfen werden. Stellt man aber eben diese Körper in eine andere Farbe, so zeigt sich alsdann das weifse Papier noch viel intensiver erleuchtet. Dafs indessen die Farbe jener Mischungen, wenn sie in lebhaftes Sonnenlicht gebracht wurden, dem Weifsen wenigstens nahe gekommen sei, bekräftigt Newton durch das Zeugnifs eines Freundes, der ihn, als er gerade mit jenen Versuchen beschäftigt war, besuchte, und die Farbe der Mischungen von der eines weifsen Papieres nicht zu unterscheiden vermogte.[1])

3. Um die Farbe einer aus zwei oder mehreren prismatischen Hauptfarben bestehenden Mischung zu bestimmen, wenn die Mengen dieser letzteren gegeben sind, leitete Newton aus der Analogie, die er zwischen den Farben und Tönen entdeckt haben wollte, folgende sinnreiche Regel ab. Den Umfang des aus (Fig. 8.) C mit einem beliebigen Halbmesser CA beschriebenen Kreises theile man in sieben Theile AB, BD, DE u. s. w., so dafs sie sich, wie die Intervalle in einer Oktave, oder wie die Zahlen $\frac{1}{9}$, $\frac{1}{16}$, $\frac{1}{10}$, $\frac{1}{9}$, $\frac{1}{10}$, $\frac{1}{16}$, $\frac{1}{9}$ verhalten, dafs also, wenn der Bogen $AB = x$ gesetzt wird, der Bogen $BD = \frac{9x}{16}$, der Bogen $DE = \frac{9x}{10}$ u. s. w., folglich

60° 45′ 34″ dem Roth,
34° 10′ 38″ dem Orange,
54° 41′ 1″ dem Gelb,
60° 45′ 34″ dem Grün,
54° 41′ 1″ dem Blau,
34° 10′ 38″ dem Indigoblau,
60° 45′ 34″ dem Violett

1) *Optice*, lib. I, pars 2. exper. 15. pag. 107.

4*

des Spektrums angehören. Man bestimme hierauf die Entfernung des Schwerpunktes eines jeden dieser Bogen von dem Mittelpunkte *C*, beschreibe um diese Schwerpunkte Kreise, die den Quantitäten der zu mischenden Farben proportional sind, suche den Schwerpunkt aller dieser Kreise, und ziehe durch *C* und diesen Schwerpunkt eine Linie: so giebt der Punkt, in welchem sie die Peripherie des um *C* beschriebenen Kreises schneidet, die Farbe der Mischung, die Entfernung dieses Schwerpunktes von *C* aber den Grad ihrer Annäherung an das Weifse an. Wäre z. B. die aus gleichen Theilen Roth und Gelb entstehende Farbe zu bestimmen, so ist bekanntlich, wenn der Winkel $ACB = \varphi$ gesetzt wird, die Entfernung, in welcher der Schwerpunkt *O* des Bogens *AB* von *C* liegt, also

$$CO = \frac{2 \sin \frac{\varphi}{2}}{\varphi} = \frac{2 \sin 30^0\, 22'\, 47''}{60^0\, 45'\, 34''} = 0{,}9538,$$

wenn der Halbmesser $CA = 1$ ist. Eben so ist die Entfernung, in welcher der Schwerpunkt *P* des Bogens *DE* von *C* liegt, nämlich

$$CP = \frac{2 \sin 27^0\, 20'\, 30''}{54^0\, 41'\, 1''} = 0{,}9625.$$

Da nun von beiden Farben, Roth und Gelb, gleich grofse Quantitäten genommen werden sollten, so sind die um die Schwerpunkte *O* und *P* zu beschreibenden Kreise gleich, und ihr Schwerpunkt liegt in der Mitte von *OP*, in *R*. In dem Dreiecke *OCP* kennt man aber jetzt, da die Schwerpunkte *O* und *P* in den Radien liegen, durch welche die Bogen *AB* und *DE* halbirt werden, aufser den Seiten *CO* und *CP* auch den eingeschlossenen Winkel $OCP = 91^0\, 53'\, 55''$. Es ist daher der Winkel $COP = 44^0\, 18'\, 7''$, und die Seite $OP = 1{,}3773$, folglich $OR = 0{,}6886$, woraus sich der

Winkel $OCR = 46^\circ\ 12'\ 49''$, und die Seite $CR = 0{,}66620$ ergiebt. Heifst der Punkt, in welchem die Peripherie des um C beschriebenen Kreises von der verlängerten CR geschnitten wird, I: so ist also der Winkel $ACI = 30^\circ\ 22'\ 47'' + 46^\circ\ 12'\ 49''$, d. h. die Farbe der Mischung fällt beinahe in die Mitte des Orange, und weil $CR = 0{,}66620$, so nähert sie sich mehr dem reinen Orange, als dem Weifs, ist folglich mehr dunkel-, als hell-orange. [1])

Da diese Methode auf der nicht festbegründeten Uebereinstimmung beruht, die Newton zwischen den Farben und Tönen beobachtet hatte, dieser selbst sie auch nur als eine ungefähr richtige angesehen wissen will: so wird man mittelst derselben um so weniger die Farbe der aus Pigmenten bestehenden Mischungen berechnen können. Auf die verschiedenen Versuche, die man gemacht hat, auch die Farbe solcher Mengungen nach gewissen Regeln zu bestimmen, werde ich in der Folge bei der „Lehre von den drei Grundpigmenten“ zurückkommen.

Erklärung der farbigen Säume, die sich zeigen, wenn etwas Helleres auf dunklerem Grunde, oder umgekehrt etwas Dunkleres auf hellerem Grunde durch ein Prisma betrachtet wird; des blauen Bogens, den man zuweilen im Innern der Prismen bemerkt, und der Farben des Regenbogens.

Die erste Anwendung, die Newton von seiner Entdeckung macht, betrifft die Erklärung der farbigen Säume, von denen sich alle Gegenstände, wenn sie durch ein Prisma betrachtet werden, umgeben zeigen.

1) *Optice*, lib. I, pars 2. prop. 6. pag. 111.

Sind sie weifs auf schwarzem, oder auch nur von einer helleren Farbe auf dunklerem Grunde, so haben sie oben einen gelbrothen, und unten einen blauvioletten Saum; sind sie dagegen schwarz auf einem weifsen, oder auch nur von einer dunkleren Farbe auf einem helleren Grunde, so haben sie umgekehrt oben einen blauvioletten, und unten einen gelbrothen Saum.

Um seine Erklärung deutlicher zu begründen, schickt Newton folgenden Versuch voran. Die Oeffnung (Fig. 9.) *Ff* sei beinahe eben so breit, wie das Prisma *ABC*, und es sei *MN* ein weifses Papier, mit welchem das gebrochene Licht so aufgefangen werde, dafs die am meisten brechbaren Stralen, die violetten, auf den Raum *Vv*, die am wenigsten brechbaren, die rothen, auf den Raum *Rr* fallen; die Stralen, die zwischen den indigofarbenen und blauen liegen, mögen auf *Ii*; die mittleren grünen auf *Grgr*; die zwischen den gelben und orangefarbenen liegen, auf *Gg*, und die übrigen Gattungen der Stralen auf den ihnen zugehörigen Räumen verbreitet sein. So nahe hinter dem Prisma werde also das Papier gehalten, dafs *Vv* und *Rr* auf demselben zum Theil in einander fallen, der Zwischenraum *Rv* folglich von allen Gattungen der Stralen erleuchtet, und deshalb weifs ist, während auf jede Stelle in *VR* und *vr* entweder nur eine einzige Farbe fällt, oder wenigstens doch nicht alle sich hier mischen. In *V*, wohin blofs violette Stralen fallen, wird also ein reines Violett sein müssen; in *I*, wo violette und indigofarbene gemengt sind, ein blasseres Indigo; in *Gr*, wohin die violetten, indigofarbenen, blauen und die Hälfte der grünen fallen, blau; in *G*, wo alle Stralen, mit Ausnahme der rothen und orangefarbenen vorhanden sind, eine grünliche, zum Blauen sich hinneigende Farbe; endlich in *GR*, wo noch

Orange hinzukommt, wird jene grünliche Farbe heller werden, und in *R*, wo alle Farben sich mengen, ins Weifse übergehen müssen. So aber lehrt es auch die Erfahrung, indem man bei der angegebenen Lage des Papieres die Farben von *V* bis *v* in der Ordnung: Violett, Indigo, Blau, Blafsgrün und Weifs wahrnimmt. Eben so mufs auf der anderen Seite des mittleren weifsen Raumes, in *r*, wohin blofs rothe Stralen fallen, ein gesättigtes Roth sein; in *g*, das aus Roth und Orange gemischt ist, ein ins Orange fallendes Roth; in *gr*, welches Roth, Orange, Gelb und die Hälfte von Grün enthält, eine zwischen Orange und Gelb liegende Farbe; in *i*, wo alle Farben mit Ausnahme von Indigo und Violett vorhanden sind, eine grünlich-gelbe; endlich in *iv*, wo alle Farben mit Ausnahme der violetten gemischt sind, ein dem Weifsen sich näherndes Hellgelb. Auch hier stimmt alles mit der Erfahrung überein, indem man von *r* bis *v* die Farben in der Ordnung: Roth, Orange und Blafsgelb sieht. Rückt man aber das Papier weiter ab vom Prisma nach *mn*, so können sich in der Mitte des Farbenbildes nur die am meisten und wenigsten brechbaren Stralen mischen, es mufs daher jetzt das weifse Licht in der Mitte fehlen, während die Farben an den Rändern um so reiner hervortreten, wie dies gleichfalls mit der Erfahrung in Uebereinstimmung steht.[1])

Eben so befriedigend lassen sich nun auch die farbigen Säume, von denen ein weifser Gegenstand auf schwarzem, oder ein schwarzer auf weifsem Grunde umgeben ist, aus der verschiedenen Brechbarkeit des Lichtes erklären. Denn es sei (Fig. 10.) *W* ein weisser Punkt auf schwarzem Grunde, so wird der von

1) *Optice*, lib. I, pars 2. prop. 8. pag. 116. sqq.

demselben ausgehende Stral *WG* schon bei seiner ersten Brechung in der Seite *AC* des Prisma, noch mehr aber bei der zweiten in der Seite *BC* sich büschelförmig in Farben zerlegen, von denen bei abwärts gekehrtem brechenden Winkel *C* die oberste in *V* violett, die unterste in *R* roth ist. Ein Auge in *O*, welches jede Farbe in die Richtung setzt, in der ihre Stralen in dasselbe kommen, sieht daher statt des weifsen Punktes *W* eine kleine gefärbte Linie *rv*, die oben roth und unten violett ist. Eben so verhält es sich mit allen übrigen weifsen Punkten, von denen *W* umgeben sein mag, und jeder von ihnen müfste für sich allein eine farbige Linie geben, die oben roth, unten violett ist, und zwischen diesen beiden Farben alle übrigen prismatischen in der bekannten Folge zeigt. Wäre nun *W* einer von den obersten weifsen Punkten, so ist klar, dafs sich die Bilder aller unter ihm befindlichen, mit Ausnahme des oberen Randes, wo Roth und Gelb hervortreten, und des unteren, wo Violett und Blau übrig bleiben, decken, dafs folglich, wenn statt des Punktes *W* ein weifser Kreis, oder irgend eine andere Figur genommen wird, nur ihr oberer Rand gelbroth, und ihr unterer blauviolett, die Mitte der Figur aber, wo alle prismatischen Farben sich mischen, weifs erscheinen müsse.

Ist die Figur schwarz auf weifsem Grunde, so können die farbigen Säume wieder nur aus dem Weifs entstehen. Da sich aber an jeder Stelle, wo Weifs von Schwarz begrenzt wird, oben ein gelbrother und unten ein blauvioletter Saum zeigen mufs, so nimmt in diesem Falle der untere blaue Saum des, über der schwarzen Figur liegenden Weifs den oberen Rand derselben, und der obere rothe Saum von dem, unter der Figur befindlichen Weifs den unteren Rand der-

selben ein. Die Ordnung der Farben ist also hier, im Vergleiche mit dem vorigen Falle umgekehrt.

Sind endlich die Theile einer Fläche nicht blofs schwarz und weifs, sondern einige derselben nur weniger leuchtend, als andere, wie Blau auf gelbem Grunde, so müssen sich offenbar dieselben Farbensäume, wie vorhin, zeigen, mit dem Unterschiede jedoch, dafs sie nach Verschiedenheit der mehr oder weniger hellen Farben verschieden nuancirt sind, wie dies alles der Erfahrung gemäfs ist.

Nachdem Newton diese so völlig überzeugende Erklärung der prismatischen Säume gegeben hat,[1]) findet er den Grund einer anderen Farbenerscheinung, auf die er zuerst aufmerksam macht, gleichfalls in der verschiedenen Brechbarkeit des Lichtes. Betrachtet man in (Fig. 11.) *O* durch das Prisma *DB* die vorliegenden Wolken mittelst des Lichtes, das auf die Seite *EC* fällt, und von der Grundfläche *DEBA* reflektirt, durch die Seite *DC* hindurchgeht: so sieht man, wenn das Prisma eine solche Lage hat, dafs der Einfallswinkel an der Grundfläche ungefähr vierzig Grade beträgt, einen blauen Bogen *MN*, der sich von einem Ende der Grundfläche bis zum anderen erstreckt, und seine konkave Seite dem Auge zukehrt, indem dabei der Theil *NB* der Grundfläche, der jenseits dieses blauen Bogens liegt, heller erscheint, als der disseits des Bogens gelegene *DM*. Man ziehe die Linie *GH* in der Grundfläche *DB* parallel mit *AB*, und die Stralen *Op* und *Ot* so, dafs der Winkel $OpG = 50^\circ \frac{1}{9}$, und der Winkel $Otg = 49^\circ \frac{1}{28}$: so folgt aus den oben angegebenen Brechungsverhältnissen des violetten und rothen Lichtes, dafs der Punkt *p* die Grenze ist, von

1) *Optice*, lib. I, pars 2. prop. 8. pag. 118.

welcher an eine Brechung der violetten Stralen, und ein Hindurchgehen derselben durch die Grundfläche *DB* möglich wird; der Punkt *t* aber diejenige, von der an die rothen Stralen gebrochen werden, und durch die Grundfläche hindurchgehen können, und dafs der Punkt *q* eine eben solche Grenze für Stralen von mittlerer Brechbarkeit ist. Denn da z. B. das Brechungsverhältnifs des violetten Lichtes aus Glas in Luft = 1 : 1,56 gefunden wurde, und der Einfallswinkel in *p* 39° 52′ hat: so ergiebt sich aus der Proportion: 1 : 1,56 = *sin* 39° 52′ : *sin* 90°, dafs für gröfsere Einfallswinkel eine Brechung der violetten Stralen unmöglich ist. Es werden also zwischen *H* und *t* Stralen von jedem Brechungsverhältnisse, zwischen *t* und *p* aber nur gelbe, blaue und violette nach *O* reflektirt, während das zwischen *p* und *G* einfallende Licht gröfstentheils durch das Glas hindurchgeht. Da nun dasselbe von jeder, parallel mit *GH* durch die Grundfläche gezogenen Linie gilt, so mufs gerade so, wie es die Erfahrung lehrt, der Theil *NB* heller, als der Theil *DM*, *MN* selbst aber als ein Bogen erscheinen, in welchem die blauen Stralen die vorherrschenden sind.[1])

Die Wahrheit seiner Entdeckung findet **Newton** auch durch die Breite der beiden Regenbogen, und durch die umgekehrte Folge der Farben in denselben vollkommen bestätigt. Dafs **Descartes** über dies alles keinen befriedigenden Aufschlufs geben, sondern blofs finden konnte, dafs nach einer zweimaligen Brechung und einer einzigen Reflexion des Sonnenlichtes in jedem Regentropfen nur solche Stralen einen wirksamen Eindruck aufs Auge machen können, die mit

1) *Optice*, lib. I, pars 2. exper. 16. pag. 119.

der Richtung der einfallenden einen Winkel von 41 bis 42 Graden bilden, und dafs eben dasselbe bei solchen Stralen, die eine doppelte Brechung und eine doppelte Reflexion in jedem Regentropfen erlitten haben, Statt finde, wenn ihre Richtungen und die der einfallenden um 51 bis 52 Grade verschieden sind, dafs aber in beiden Fällen alles übrige aus den Regentropfen austretende Licht zu sehr zerstreut sei, um in Stralen, die sich dem Parallelismus auch nur nähern, zum Auge gelangen zu können, ist schon im ersten Theile erörtert worden.[1]) Brachte aber Newton diese Resultate mit der verschiedenen Brechbarkeit des Lichtes in Verbindung, so sahe er alle Schwierigkeiten, welche die Theorie des Regenbogens den Naturforschern seit Jahrtausenden gemacht hatte, plötzlich gelöst.

Um zunächst auf einem kürzeren Wege, als dies Descartes, dem die Hilfe des Differential-Kalkuls fehlte, gelingen konnte, den Winkel zu finden, den die aus dem Regentropfen (Fig. 12.) *C* austretenden Stralen *DO* und *do*, nachdem sie in *A* und *a*, so wie in *D* und *d* gebrochen, und in *B* auf dem Hintergrunde desselben reflektirt sind, mit der Richtung der einfallenden *SA* oder *Os* bilden müssen, wenn sie wirksame Stralen, und daher parallel sein sollen, verlängere man *SA* und *OD*, bis sie sich in *E* schneiden, und bezeichne den Einfallswinkel des Strales *SA*, den Winkel *SAF* mit w, den Brechungswinkel *CAB* mit x, den Winkel *BAE* mit y, und den Winkel *AED*, der, weil er dem Winkel *EOs* gleich ist, gefunden werden soll, mit z. Es ist alsdann, weil die Dreiecke *ACE* und *DCE* kongruent sind:

1) Pag. 261. sqq.

$$\frac{z}{2} = x - y, \text{ und}$$
$$w = x + y, \text{ folglich}$$
$$z = 4x - 2w.$$

Sollen aber die Stralen *DO* und *do* parallel sein, so mufs der Winkel z für beide dieselbe Gröfse haben, folglich konstant, und sein Differential Null sein, welches zugleich darauf hindeutet, dafs dieser Winkel alsdann ein Maximum oder Minimum ist.[1]) Man erhält also, wenn man diese Gleichung differentiirt:

$$\partial w = 2\partial x.$$

Wird ferner das Brechungsverhältnifs aus Luft in Wasser $= m$ gesetzt, so ist

$$\sin w = m \sin x,$$

und, wenn man auch diese Gleichung differentiirt:

$$\partial w^2 \cos^2 w = m^2 \partial x^2 \cos^2 x,$$

folglich für die wirksamen Stralen, für welche $\partial w^2 = 4\partial x^2$:

$$4\cos^2 w = m^2 \cos^2 x = m^2 \left\{1 - \frac{\sin^2 w}{m^2}\right\} = m^2 - 1 + \cos^2 w,$$

und

$$\cos^2 w = \frac{m^2 - 1}{3}.$$

Hieraus ist, da Newton das Brechungsverhältnifs m der rothen Stralen aus Luft in Regenwasser $= \frac{108}{81}$ fand:

$$w = 59^0\ 23'\ 28'',$$

und aus der Gleichung $\sin w = m \sin x$:

$$x = 40^0\ 12'\ 10'', \text{ und}$$
$$z = 4x - 2w = 42^0\ 1'\ 44''.$$

Da Winkel $z = AEO = EOs$, so würde man also, wenn die Sonne blofs rothes Licht entsendete, statt des vielfarbigen Regenbogens nur einen rothen Bogen, dessen Halbmesser ungefähr 42^0 hätte, und zwar, weil

3) Dafs ersteres hier Statt finde, zeigt die Tabelle Tb. I, pag. 268.

die Stralen nicht allein aus einem, sondern aus allen Punkten der Sonnenscheibe einfallen, von der Breite der Sonne sehen. Da aber im Sonnenlichte alle Farben enthalten sind, und jede ein anderes Brechungsverhältnifs hat: so werden nicht nur dieselben Farben, wie in dem prismatischen Spektrum, im Regenbogen auf einander folgen, sondern es wird auch die Breite desselben eine ganz andere werden müssen. Das Brechungsverhältnifs der violetten Stralen ist nämlich $\frac{109}{81}$, daher für die violetten Stralen:

$$w = 58^0\ 40'\ 31'',$$
$$x = 39^0\ 24'\ 18'', \text{ und}$$
$$z = 4x - 2w = 40^0\ 16'\ 10''.$$

Die Breite des Regenbogens müfste also, wenn die Sonne blofs ein leuchtender Punkt wäre, dem Unterschiede der beiden Bogen von 42° 1′ 44″ und 40° 16′ 10″, d. i. 1° 45′ 34″ gleich sein. Da aber der Sonnendurchmesser in seinem mittleren Werthe 32′ hat, so ist diese Differenz noch um den Winkel von 32′, und zwar auf jeder Seite des Regenbogens um 16′ zu vergröfsern, so dafs in Uebereinstimmung mit der Erfahrung die ganze Breite desselben 2° 17′, und der kleinste Halbmesser 40° 10″ hat, welches alles jedoch nur unter der Bedingung der verschiedenen Brechbarkeit des Sonnenlichtes möglich ist, indem, falls diese Eigenschaft demselben nicht zukäme, die Breite des Regenbogens nicht mehr, als 32′ haben könnte. Auch geht aus dieser Rechnung hervor, warum in dem Hauptregenbogen die rothen Stralen, die unter einem gröfseren Winkel gesehen werden, die oberen, die violetten dagegen die unteren sein müssen.

Eben so läfst sich die umgekehrte Ordnung der Farben in dem äufseren Regenbogen und die Breite, in welcher er sich zeigt, nur aus der verschiedenen

Brechbarkeit des Sonnenlichtes erklären. Denn es sei (Fig. 13.) *SA* ein von der Sonne kommender Stral, der in *A* gebrochen, in *B* reflektirt, in *D* abermals reflektirt, und in *E* zum zweiten Male gebrochen in das Auge *O* kommt: so ist, wenn sich die Stralen *EO* und *SA* in *G* schneiden, in dem Fünfecke *ABDEG*, weil sowohl die Winkel *B* und *D*, als auch die Winkel *A* und *E* gleich sind, der Winkel

$$AGE = z = 6R - 2A - 2B.$$

Bezeichnet man wieder den Einfallswinkel des Strales *SA* mit w, seinen Brechungswinkel mit x, und den gebrochenen Winkel mit y, so ist ferner

$$y = w - x,$$

$$\angle A = 2R - y = 2R - w + x,$$

$$\angle B = 2x, \text{ daher}$$

$$z = 2R + 2w - 6x,$$

und für wirksame Stralen *EO*, die unter sich parallel ins Auge kommen, für welche also $\partial z = 0$ ist:

$$\partial w = 3 \partial x.$$

Setzt man diesen Werth von ∂w [1]) in die, schon für den Hauptregenbogen gefundene Gleichung: $\partial w^2 \cos^2 w = m^2 \partial x^2 \cos^2 x$, so ergiebt sich:

$$9 \cos^2 w = m^2 \cos^2 x = m^2 \left\{ 1 - \frac{\sin^2 w}{m^2} \right\} = m^2 - 1 + \cos^2 w,$$

und

$$\cos^2 w = \frac{m^2 - 1}{8},$$

aus welcher Gleichung sich alle, den äufseren Regenbogen betreffenden Fragen beantworten lassen. Man erhält hieraus auf dieselbe Weise, wie vorhin, für die rothen Stralen, für welche $m = \frac{108}{81}$, den Winkel

$$z = 50^0\, 58'\, 46'',$$

1) Dafs für diesen Werth von ∂w der Winkel z ein Minimum sei, geht aus der Th. I, pag. 268. berechneten Tabelle hervor.

und für die violetten, für welche $m = \frac{109}{81}$:

$$x = 54^\circ\, 9'\, 38'',$$

folglich für die Breite des äufseren Regenbogens, wiederum in Uebereinstimmung mit der Erfahrung: $54^\circ\, 9'\, 38'' + 32' - 50^\circ\, 58'\, 46'' = 3^\circ\, 43'$. Auch geht hieraus hervor, dafs bei dem äufseren Regenbogen die violetten Stralen, die unter einem gröfseren Winkel gesehen werden, die oberen, die rothen aber die unteren sein, die Farben folglich, im Vergleiche mit denen des Hauptregenbogens, in umgekehrter Folge erscheinen müssen.[1])

So würden wir also eines der prachtvollsten unter den Schauspielen, die das Firmament uns darbietet, entbehren, wenn dem Sonnenlichte nicht die Eigenschaft der verschiedenen Brechbarkeit zukäme; wir würden statt der beiden breiten Bogen von mehr, als zwei, und beinahe vier Graden, die ihrer unvergleichlichen Farbenpracht wegen schon im frühesten Alterthume als das Bundeszeichen, das der Schöpfer zwischen sich und den Menschen errichtet habe, bewundert wurden, nichts, als zwei Streifen von der Breite der Sonnenscheibe sehen, die blofs durch ein etwas helleres Licht gegen den dunkleren Himmelsraum abstechen würden.

Werden die obigen Formeln zur Bestimmung des Halbmessers eines dritten, durch eine dreimalige Reflexion des Sonnenlichtes auf dem Hintergrunde der Tropfen entstehenden Regenbogens angewendet, so zeigt es sich, dafs er nicht der Sonne gegenüber liegen, sondern dieselbe in einer Entfernung von 41° umgeben würde. Ein solcher, sich sehr selten zeigender

2) Newton findet für beide Regenbogen dieselben Resultate *Optice*, lib. I, pars 2. prop. 9. pag. 121. und *Lect. opt.*, pag. 271.

Regenbogen ist unter anderen von **Bergmann** zweimal beobachtet worden.[1])

Da sich der Mittelpunkt der Sonne, das Auge und der Mittelpunkt des Regenbogens immer in einer und derselben geraden Linie befinden: so kann der letztere nur dann, wenn die Sonne gerade im Horizonte steht, ein Halbkreis sein. Die durch den Staubregen der Springbrunnen entstehenden Regenbogen sieht man aber als vollständige Kreise, wenn man den Tropfen nahe ist, und so hoch steht, dafs man den 42 oder gar 54 Grade unter dem Mittelpunkte des Hauptregenbogens liegenden, und mit Regentropfen erfüllten Raum überblicken kann.

Hierdurch ist auch die Entstehung der horizontalen Regenbogen erklärt, die man bei einer erhöheten Stellung des Auges, und wenn die Regenwolke nahe ist, zuweilen beobachtet hat. So sahe **Langwith**[2]) einen solchen Regenbogen, der sich mehrere hundert Ellen auf dem Erdboden erstreckte, und nicht geschlossen war, sondern ein Hyperbel-Bogen zu sein schien, der die konvexe Seite dem Beobachter zukehrte. Der kreisförmige Regenbogen, der bei der angegebenen Lage des Auges eigentlich hätte entstehen müssen, wurde nämlich von diesem auf den Erdboden entworfen, so dafs bei einer anderen Stellung des Beobachters gegen die Regenwand der Bogen sich auch von parabolischer oder elliptischer Gestalt hätte zeigen können.

Auch die doppelten oder gar vierfachen Regenbogen von ungewöhnlicher Gestalt, die man zuweilen

1) **Radicke's** „Handbuch der Optik". Berlin, 1839. Th. II, pag. 305.

2) **Priestley's** Gesch. der Optik, pag. 430.

in der Nähe ruhiger Wasserflächen beobachtet hat, finden ihre Erklärung in der Newtonschen Theorie. Es sind die von dem Wasser reflektirten Stralen, die auf dieselbe Weise, wie die der wirklichen Sonne, einen Haupt- und einen Nebenbogen hervorbringen. Da die Sonne eben so hoch über dem Horizonte, wie ihr reflektirtes Bild unter demselben steht, so haben die zu diesem Bilde gehörigen Bogen, im Vergleiche mit denen der Sonne selbst, eine umgekehrte Lage, und ihre konvexe Seite nach unten gewendet.

Die einzige, noch immer nicht befriedigend erklärte Erscheinung, von der die Regenbogen zuweilen begleitet sind, ist die der Nebenfarben, die sich innerhalb des Hauptbogens, und zwar nur an dem oberen Theile desselben zeigen. Eben jener Langwith [1]) ist der erste, der auf dieselben aufmerksam machte, nachdem er im August 1772. Abends halb sechs Uhr, also bei niedrigem Stande der Sonne, einen Regenbogen beobachtet hatte, in welchem zwar die prismatischen Farben in der gewöhnlichen Folge vorkamen, das Violett aber nicht allein scharf begrenzt war, sondern auch zum Roth hinneigte, so daſs man es Purpur nennen konnte, an den sich hierauf in mehreren Wiederholungen grüne und purpurfarbige Säume anschlossen. Langwith ist der Meinung, daſs diese Nebenfarben durch mehrere, auf einander folgende Regenbogen entstehen dürften, indem sich das Violett des ersten und das Roth des zweiten zum Purpur des ersten, das Blau und Gelb des zweiten zum hierauf folgenden Grün u. s. w. vermischen; doch wagt er nicht einmal eine Vermuthung über die Ursache dieser wiederholten Regenbogen auszusprechen.

1) Priestley's Gesch. der Optik, pag. 430.

Diese Nebenfarben sind in der Folge auch von Anderen, namentlich von Wegner,[1]) Muncke, Venturi und Brandes beobachtet worden, aber immer nur, wie von Langwith, an dem oberen Rande des Hauptbogens, und besonders bei einem grofstropfigen Regen und einem niedrigen Stande der Sonne. Zwar haben Venturi und Brandes die Entstehung dieser farbigen Säume, bei denen vornehmlich der Umstand, dafs sie sich nicht bis nach unten hin erstrecken, kaum zu beseitigende Schwierigkeiten darbietet, zu erklären versucht, einen völlig befriedigenden Aufschlufs über diese merkwürdige Erscheinung jedoch nicht, wie es scheint, geben können.

Venturi macht die Voraussetzung,[2]) dafs grofse Regentropfen durch den Widerstand, den die Luft ihrem Falle entgegensetzt, eine abgeplattete Gestalt erhalten, wie dies auch bei grofsen Gasblasen oder Oeltropfen, die im Wasser in die Höhe steigen, oder bei grofsen Hagelkörnern bemerkbar sei. Da nun die Farben, die durch kugelförmige und abgeplattete Tropfen entstehen, unter anderen Winkeln erscheinen müssen: so ist Venturi der Meinung, dafs jene Nebenfarben durch die Abplattung der grofsen Tropfen bewirkt werden, während die mit ihnen vermischten kleineren Tropfen, die ihrer geringeren Masse wegen beim Fallen kugelförmig bleiben, den Hauptbogen erzeugen. Nehmen wir den einfachsten Fall an, dafs der vertikale Durchschnitt (Fig. 14.) *DM* eines grofsen abgeplatteten Tropfens auf beiden Seiten kreisförmig gekrümmt sei: so beschreiben[3]) die auf den Quadranten *FAL*,

1) *Acta erud.* 1731. pag. 180.
2) Gilbert's Ann., Bd. 52. pag. 385.
3) Th. I, pag. 349.

dessen Mittelpunkt C ist, fallenden Sonnenstralen die Brennlinie LBH, so dafs $FH = \frac{m.CF}{m-n} = 4.CF$, wenn das Brechungsverhältnifs $m:n$ aus Luft in Wasser $= 4:3$ gesetzt wird, während jeder Punkt B dieser Brennlinie von dem Einfallspunkte A um die Linie $AB = \frac{4.AG^2}{4.AG - 3.AE}$ entfernt liegt, wenn CE der Sinus des Einfalls- und CG der des Brechungswinkels ist. Alle in dem Quadranten FAL gebrochenen Stralen, die durch ihre Durchschnittspunkte die Brennlinie erzeugen, treffen zwar die Hinterseite MN des Tropfens, und werden hier zum Theil reflektirt; am reichlichsten werden jedoch die Stralen zurückgeworfen, die den Punkt B, in welchem die Brennlinie von MN geschnitten wird, und die nahe liegenden Punkte geben. Denn die den Bogen LB erzeugenden Stralen, die verlängert werden müssen, wenn sie die Hinterseite MN treffen sollen, werden dadurch zu sehr zerstreut, um wirksam sein zu können; die den Bogen BH gebenden Stralen aber fallen dichter auf BP, weil sie sich erst hinter BP schneiden. Die um B also am reichlichsten reflektirten Stralen, weil hier die Durchschnittspunkte derselben auf die Hinterseite MN selbst fallen, werden in der Vorderseite D des Tropfens in die Richtung DO gebrochen, und geben dann, da sonst alle Umstände gerade so, wie bei dem Hauptbogen, auch hier vorhanden sind, einen Regenbogen, dessen Halbmesser von dem Winkel $DOs = OKC$, den die Richtung der einfallenden Stralen SA und der gebrochenen DO bestimmt, abhängig ist, und in welchem die rothen Stralen den obersten Saum einnehmen. Dieser Winkel OKC wird aber offenbar um so kleiner, je weiter MN von LD entfernt, je mehr

also der Tropfen abgeplattet ist, und es können daher die so entstehenden Farben mit denen des Hauptbogens nicht zusammenfallen, sie müssen vielmehr unter denselben liegen. Leitete Venturi das Licht der Sonne auf zwei Uhrgläser, von denen das eine in der Vorderwand eines mit Wasser gefüllten Kastens befestigt war, das andere aber in verschiedene Entfernungen gegen jenes gebracht werden konnte, so fand er die Richtigkeit seiner Schlüsse dadurch bestätigt, daſs sich die Farben an einer um so niedrigeren Stelle zeigten, je mehr er die beiden Gläser von einander entfernt hatte. Um auch den Umstand, daſs jene Nebenfarben immer nur an dem oberen Theile des Hauptbogens, nicht aber in der Nähe des Erdbodens erscheinen, erklärt zu haben, erinnert Venturi daran, daſs die abgeplatteten Tropfen erst dann, wenn sie dem Erdboden nahe sind, der niedrig stehenden Sonne ihre horizontalen Durchschnitte, die eben so, wie die der kleineren Tropfen kreisförmig sind, zukehren, daſs folglich alsdann jeder Grund zur Hervorbringung eines anderen, als des Hauptbogens fehle.

Man kann nicht leugnen, daſs diese Erklärung der Nebenfarben eben so sinnreich ist, wie sie allerdings die Entstehung derselben im Wesentlichen erläutert. Wenn man aber auch den Umstand, daſs sich diese Farben nur einige Male wiederholen, dadurch beseitigen wollte, daſs die Verschiedenheit in der Abplattung der Tropfen nicht groſs sei: so bliebe es doch noch immer unerklärt, weshalb man nur die Farben Violett und Grün bemerkt. Auch könnten diese nicht, wie es die Erfahrung lehrt, dem Hauptbogen parallel bleiben; sie müſsten vielmehr, weil die fallenden Tropfen immer mehr und mehr ihre kreisförmigen Durchschnitte

der Sonne zuwenden, in die des Hauptbogens allmälig übergehen.

Noch weniger genügend scheint die von Brandes gegebene [1]) Erklärung zu sein, nach welcher jene Nebenfarben durch die Höfe der Sonne entstehen sollen, die sich, wenn sie mit dünnen Wolken bedeckt ist, in geringem Abstande um dieselbe zu zeigen, und in denen besonders die Farben Grün und Violett hervorzutreten pflegen. So wie durch jeden Punkt der Sonne ein Regenbogen bewirkt werden kann, so müfsten auch die über ihr befindlichen grünen und violetten Punkte der Höfe grüne und violette Bogen zur Folge haben, die um so niedriger liegen, als die gleichfarbigen des Hauptbogens, je mehr jene Punkte von der Sonne entfernt sind, und in diesen Bogen, meint Brandes, könnten vielleicht die Nebenfarben ihren Grund haben.

Man sieht, wie viele Einwürfe diese Erklärung zuläfst. Denn nicht allein, dafs die Frage, warum nicht auch durch die unterhalb der Sonne liegenden Punkte der Höfe Regenbogen entstehen, hierbei unerledigt bleibt, so ist es auch kaum glaublich, dafs jene schwachen Farben der Höfe nach ihrer Reflexion in den Regentropfen noch sichtbar sein sollten. Auch geht es aus dieser Erklärung nicht hervor, weshalb sich die Nebenfarben nach der Erde hin verlieren, des Umstandes nicht zu gedenken, dafs Bouguer, der diese Farben in den Gebirgen Peru's häufiger sahe, als eine Hauptbedingung ihres Entstehens nicht, wie Brandes voraussetzt, eine mit Wolken bedeckte, sondern eine heitere, durchaus wolkenfreie Sonne fand, während die

1) Gilbert's Ann., Bd. 19. pag. 464.

gegenüberliegende Gegend des Himmels tief dunkel war. [1])

Es gehören also die Nebenfarben des Hauptregenbogens zu den Erscheinungen, die immer noch nicht ganz befriedigend erklärt sind. Man wird hierzu alle Umstände, die jenes Phänomen begleiten, einer sorgfältigen Beobachtung unterwerfen müssen, die freilich durch das kurze und seltene Erscheinen desselben nicht wenig erschwert wird. [2])

1) Priestley's Gesch. der Optik, pag. 428.

2) Auch die von Young gegebene Erklärung (Gilbert's Ann. Bd. 39. pag. 272.), die in dem Principe der Interferenz begründet ist, scheint nicht alle Umstände, von denen die Nebenfarben begleitet sein sollen, zu umfassen. Da von diesem Principe bis jetzt nicht die Rede sein konnte, und ich mich daher nicht ohne grofse Weitläufigkeit auf den Zusammenhang jener Erklärung einlassen würde, so erwähne ich derselben hier nur beiläufig in dieser Anmerkung. Young nimmt an, dafs die Nebenfarben durch Stralen entstehen, die unter Winkeln auf die Tropfen fallen, welche gröfser und kleiner sind, als die zu dem Maximum von 41° gehörigen, dafs diese Stralen nach mehrmaligen Brechungen und Reflexionen, welche sie in den Tropfen erleiden, in parallelen Richtungen und gefärbt ins Auge des Beobachters gelangen, dafs die Wirkung dieser homogenen Stralen nach der Verschiedenheit der Wege, welche sie durch ihren Durchgang durch die Tropfen zurückgelegt haben, im Auge des Beobachters sich bald aufhebe (interferire), bald verstärke, und dafs hierdurch auf ähnliche Weise, wie bei den farbigen Streifen, die durch gebeugtes Licht entstehen, eine jede Farbe in gewissen Abständen wiederkehre. Die Tropfen dürften daher, damit ein solcher Erfolg der homogenen Stralen möglich werde, eine gewisse Gröfse nicht überschreiten, auch müfsten sie unter einander gleich sein, und eben darin liege die Ursache des seltenen Erscheinens der Nebenfarben. Young berechnet, dafs der Durchmesser der Tropfen, wenn sich das erste Nebenroth in einer Entfernung von 2° von dem Roth des Hauptbogens befinden, und das Violett desselben sich mit diesem Nebenroth mischen soll, nicht mehr, als $\frac{1}{70}$ bis $\frac{1}{75}$ Zoll betragen dürfe. Sollten die Nebenfarben auch an dem zweiten Regenbogen bemerkbar werden können, so müfsten sie nicht innerhalb, sondern an der äufseren Seite desselben erscheinen. — Auf den Umstand, dafs

Erklärung der farbigen Säume, von denen die Bilder der Linsen umgeben sind. Berechnung der chromatischen und sphärischen Abweichung der Stralen. Beschreibung des Newtonschen und Cassegrainschen Spiegel-Teleskopes. Newton's Spiegel-Mikroskop.

Es ist schon im ersten Theile bemerkt worden, dafs man vor Newton die Ursache der Unvollkommenheit eines dioptrischen Fernrohres hauptsächlich in der Abweichung der Stralen wegen der Kugelgestalt der Gläser suchte, und dafs Descartes dieselbe durch den Vorschlag, elliptische und hyperbolische Gläser zu nehmen, beseitigt zu haben glaubte. Ein viel geringeres Gewicht legte man auf die Farben, von denen man die Bilder in den dioptrischen Fernröhren umgeben sahe, war indefs bemüht, auch diesen Mangel durch möglichst grofse Brennweiten, die man den Objektiv-Gläsern gab, zu verringern. Newton zeigte jedoch aus seiner Theorie der verschiedenen Brechbarkeit, dafs man den Grund der Unvollkommenheit eines dioptrischen Fernrohres nicht sowohl in der Abweichung wegen der Kugelgestalt (der sphärischen Abweichung), als vielmehr in der wegen der Farbenzerstreuung (der chromatischen Abweichung) zu suchen habe, dafs sich diese letztere, wie er aus einem Versuche schlofs, den spätere Beobachtungen als mifslungen dargethan haben, nicht beseitigen lasse, und dafs man daher die dioptrischen Fernröhre als Instru-

man die Nebenfarben besonders bei grofstropfigem Regen beobachtet hat, und dafs sie in der Nähe des Erdbodens verschwinden, scheint also Young bei dieser Erklärung nicht Rücksicht genommen zu haben. Auch ist die Voraussetzung, dafs irgend jemals alle Regentropfen gleich grofs sein könnten, gewifs eine sehr unwahrscheinliche.

mente, welche nie von den gröfsten Mängeln befreit werden könnten, aufgeben, und die Spiegel-Teleskope zu vervollkommnen suchen müsse. Doch sehen wir zuerst, wie die Entstehung der farbigen Säume in den Bildern der Linsen aus der verschiedenen Brechbarkeit des Lichtes folgt, und wie hiermit die chromatische Abweichung zusammenhängt.

Fallen die parallelen Stralen (Fig. 15.) *SB* auf das Sammelglas *BAB*, so schneiden, wie in Fig. 7., die am meisten brechbaren die Achse in einem Punkte *V*, der näher an dem Glase liegt, als der Brennpunkt *R* der am wenigsten brechbaren. Das von einem entfernten leuchtenden Punkte kommende, und auf das Glas fallende Licht vereinigt sich daher nicht wieder in einem Punkte der Achse, sondern es entstehen vielmehr, wenn sich ein leuchtender Gegenstand vor dem Glase befindet, unzählig viele farbige Bilder desselben hinter dem Glase, weil jede Farbe ihren eigenen Brennpunkt hat. Diese Bilder decken sich nur zum Theil, zeigen also auch nur einen Theil des Gegenstandes in seiner ihm eigenthümlichen Farbe, und müssen folglich da, wo sie über einander hervorragen, farbige Säume erzeugen. Ist z. B. (Fig. 16.) *BB* ein Sammelglas, und der Gegenstand *MM* weifs auf schwarzem Grunde, und aufserhalb der vorderen Brennweite gelegen: so entsteht in *vv* ein umgekehrtes violettes, in *gg* ein umgekehrtes gelbes, in *rr* ein umgekehrtes rothes Bild, und zwischen diesen eine unzählige Menge anderer in allen prismatischen Farben. Ein Auge hinter *rr* mufs daher, weil das gelbe und rothe Bild über die übrigen hervorragen, das Gesammtbild mit einem gelbrothen Saume sehen. Ist der Gegenstand schwarz auf weifsem Grunde, so zeigt Fig. 16.*a*., dafs dieser an der Grenze des Schwarz einen blauvioletten Saum

haben müsse, weil in diesem Falle das blaue und violette Bild über die übrigen hervorragen. Ist aber der Gegenstand innerhalb der vorderen Brennweite eines Sammelglases befindlich, und weifs auf schwarzem Grunde, so liegt das rothe Bild näher [1]) an dem Glase, als das violette, und es ist daher (Fig. 16. *b.*) der Saum blauviolett. Ist endlich der Gegenstand innerhalb der vorderen Brennweite schwarz auf weifsem Grunde, so ragt das rothe Bild vor allen übrigen hervor (Fig. 16. *c.*), und der Saum ist gelbroth. In derselben Weise ergiebt es sich, dafs bei einem Zerstreuungsglase ein weifser Gegenstand auf schwarzem Hintergrunde einen gelbrothen, ein schwarzer auf weifsem aber einen blauvioletten Saum haben müsse, wie dies alles mit der Erfahrung übereinstimmt. Ist der Gegenstand nicht weifs auf schwarzem, oder schwarz auf weifsem, sondern gefärbt auf einem anders gefärbten Hintergrunde, so können zwar die Säume schwächer werden, jedoch nie ganz verschwinden.

Der kleinste Raum, in welchem die Stralen aller Gattungen wieder vereinigt sind, ist also ein Kreis mit dem Durchmesser (Fig. 15.) MN, der zwischen den Durchschnittspunkten M und N der violetten und rothen Stralen gezogen ist, und dessen Mittelpunkt F sei. Durch eine Vergleichung dieser Linie MN mit dem Durchmesser des kleinsten, durch die Kugelgestalt der Gläser entstandenen Kreises, durch den alle einfallenden Stralen nach ihrer Brechung hindurch-

1) Aus der Gleichung $\frac{1}{p} = \frac{1}{a} + \frac{1}{\alpha}$ folgt $\alpha = \frac{ap}{a-p}$, oder da in dem obigen Falle $p > a$, $\alpha = -\frac{ap}{p-a} = -a - \frac{a^2}{p} - \frac{a^3}{p^2} \ldots$, α also am kleinsten, wenn p, wie dies bei den rothen Stralen der Fall ist, seinen gröfsten Werth hat.

gehen, wird man daher die Frage, durch welche der beiden Abweichungen eine gröfsere Undeutlichkeit in die Bilder komme, entscheiden können.

Die Entfernung des Vereinigungspunktes R der rothen Stralen von dem Vereinigungspunkte V der violetten, die chromatische Längenabweichung, findet Newton, wenn das Licht in parallelen Stralen auf das Glas fällt, ungefähr $=\frac{2}{55}$ der Brennweite der Stralen von mittlerer Brechbarkeit, den Durchmesser MN der kleinsten chromatischen Breitenabweichung aber unter eben jener Bedingung beinahe $=\frac{1}{55}$ der Apertur des Objektiv-Glases. Sind jedoch die Stralen nicht parallel, so giebt er als einen Näherungswerth der Linie VR die Formel $\frac{(a+\alpha)\alpha}{27a}$ an, wenn a die Entfernung des leuchtenden Punktes von dem Glase, und α die Vereinigungsweite der Stralen von mittlerer Brechbarkeit ist.[1]) Newton gelangt zu diesen Resultaten, wie überall in seinen optischen Rechnungen, auf elementarem Wege; auf einem kürzeren erhält man eben dieselben, wenn man die kleine Linie FR als ein Differential von $AF=\alpha$, und den geringen Unterschied, der zwischen dem Brechungsverhältnisse n für mittlere, und für rothe oder violette Stralen Statt findet, als ein Differential von n ansieht. Es ist nämlich für die Brennweite p, die Krümmungshalbmesser f und g, und das Brechungsverhältnifs n der mittleren Stralen:[2])

$$(n-1)p=\frac{fg}{f+g},$$

1) *Optice*, lib. I. pars 1. prop. 7. pag. 59. *Lect. opt.*, pag. 261.
2) Th. I, pag. 278.

folglich, da die rechte Seite dieser Gleichung konstant ist:

$$(n-1)\partial p + p\partial n = 0,$$

$$\partial p = -\frac{p\partial n}{n-1},$$

wo das negative Zeichen nur andeutet, dafs die Veränderungen von p und n entgegengesetzt sind. Ferner ist

$$\frac{1}{p} = \frac{1}{a} + \frac{1}{\alpha}, \text{ daher}$$

$$-\frac{\partial p}{p^2} = \frac{\partial n}{p(n-1)} = -\frac{\partial\alpha}{\alpha^2}, \text{ und}$$

$$\partial\alpha = -\frac{\alpha^2\partial n}{p(n-1)}.$$

Es ist aber für Stralen von mittlerer Brechbarkeit $n = 1{,}55$, und für die rothen $= 1{,}54$, folglich $\partial n = 0{,}01$, daher für parallele Stralen, für welche $\alpha = p$ ist:

$$\partial\alpha = \frac{p}{55},$$

und, da F als die Mitte zwischen V und R angesehen werden kann, die chromatische Längenabweichung

$$2\partial\alpha = VR = \frac{2p}{55}.$$

Der Halbmesser FM der Breitenabweichung ist daher aus der Proportion:

$$AB : FM = AR : FR = AV : VF = AR + AV : FR + FV$$
$$= 2 . AF : VR = 2p : \frac{2p}{55}$$

zu bestimmen, woraus

$$FM = \frac{AB}{55}.$$

Der Halbmesser FM der Breitenabweichung ist also $\frac{1}{55}$ der halben Apertur AB, der Durchmesser MN

folglich $\frac{1}{55}$ der ganzen Apertur. Endlich ergiebt sich hieraus auch die letzte Regel **Newton's**, da [1])

$$\alpha = \frac{p(a+\alpha)}{a}, \text{ folglich}$$

$$VR = 2\partial\alpha = \frac{2\alpha^2\,\partial n}{p(n-1)} = \frac{(a+\alpha)\alpha}{27a},$$

wenn man für $\frac{2\partial n}{n-1}$, das eigentlich der Werth $\frac{2}{55}$ hat, den Näherungswerth $\frac{1}{27}$ nimmt.

Newton untersuchte nun weiter, welchen Einfluſs die Kugelgestalt auf die Zerstreuung der Stralen haben müsse, und fand, daſs dieser gegen die chromatische Abweichung kaum in Betracht komme, daſs man also nicht sowohl auf eine andere Gestalt der Gläser, als vielmehr, wenn es möglich ist, auf die Beseitigung der Farbenzerstreuung bedacht sein müsse, sobald man sich in den Besitz vollkommnerer Fernröhre setzen wolle. Er findet z. B. den Halbmesser der kleinsten sphärischen Breitenabweichung bei einem plan-konvexen Glase, dessen ebene Seite gegen einen weit entfernten Gegenstand gerichtet wird, $= \frac{n^2 x^3}{8g^2}$, wenn n das Brechungsverhältniſs aus Luft in Glas für mittlere Stralen, x die halbe Apertur, und g der Halbmesser der konvexen Seite ist,[2]) wie sich dies in der That so verhält. Denn es sei (Fig. 17.) BAB die vordere Seite eines doppelt-konvexen Glases, auf welche aus dem Punkte E der Achse ein Stral EG, in der Entfernung $GK = x$ von derselben, falle. Treffen die in der Nähe der Achse durchgehenden centralen Stralen, nach der ersten Brechung in der Vorderfläche, jene

1) Th. I, pag. 278.
2) *Opt.*, lib. I, pars 1. prop. 7. pag. 67. *Lect. opt.* pag. 165. sqq.

in M, so wird der Stral EG sie in einem anderen Punkte P schneiden; nach der zweiten Brechung in der Hinterfläche wird aber nicht bloſs dadurch, daſs der Stral EG seine Richtung nicht nach M, sondern nach P nimmt, eine Abweichung FR von dem Punkte F, in welchem die centralen Stralen zusammenkommen, sondern auch durch die Brechung in der Hinterfläche eine zweite Abweichung RQ entstehen. Die Linie FQ ist es also, welche die sphärische Längenabweichung vorstellt, und auf deren Berechnung es zunächst ankommt.

Wird, wie sonst, der Halbmesser CG der vorderen Seite mit f, und die Linie EA mit a bezeichnet, so hat man:

$$EG : EC = \sin C : \sin G,$$
$$CP : GP = \sin CGP : \sin C,$$
$$n : 1 = \sin G : \sin CGP,$$

daher

$$(1)\ n \,.\, EG \,.\, CP = EC \,.\, GP.$$

Es ist, wenn höhere Potenzen von x, als die zweite, unberücksichtigt bleiben:

$$EG = (EK^2 + x^2)^{\frac{1}{2}} = EK + \frac{x^2}{2 \,.\, EK},$$
$$EK = a + AK = a + f - CK = a + f - (f^2 - x^2)^{\frac{1}{2}}$$
$$= a + \frac{x^2}{2f},$$

folglich

$$EG = a + \frac{x^2}{2f} + \frac{x^2}{2a} = a + \frac{(a+f)x^2}{2af}.$$

Ferner ist, wenn $AM = k$, und $PM = w$ gesetzt wird:

$$CP = k - f - w,$$
$$EC = a + f,$$
$$GP = (KP^2 + x^2)^{\frac{1}{2}} = KP + \frac{x^2}{2 \,.\, KP},$$

$$KP = CP + CK = k - f - w + (f^2 - x^2)^{\frac{1}{2}}$$
$$= k - w - \frac{x^2}{2f},$$

daher, wenn das Produkt von w in x^2 fortgelassen wird:

$$GP = k - w - \frac{x^2}{2f} + \frac{x^2}{2k} = k - w - \frac{(k-f)x^2}{2fk},$$

und, wenn man alle diese Werthe in die Gleichung (1) setzt:

$$n\left\{a + \frac{(a+f)x^2}{2af}\right\}(k-f-w) = (a+f)\left\{k - w - \frac{(k-f)x^2}{2fk}\right\},$$

oder, wenn das Produkt von w in x^2 wieder unberücksichtigt bleibt:

$$(2)\quad na(k-f-w) + \frac{n(a+f)(k-f)x^2}{2af}$$
$$= (a+f)(k-w) - \frac{(a+f)(k-f)x^2}{2fk}.$$

Es ist aber[1])

$$(3)\quad nak - naf = ak + fk,$$

folglich, wenn diese Gleichung von (2) subtrahirt wird:

$$\frac{n(a+f)(k-f)x^2}{2af} - naw = -\frac{(a+f)(k-f)x^2}{2fk} - aw - fw,$$

oder

$$(4)\quad \frac{(a+f)(k-f)(nk+a)x^2}{2afk} = \{(n-1)a - f\}w.$$

Da aber aus (3):

$$(5)\quad f = \frac{(n-1)ak}{na+k}, \text{ so ist}$$
$$a + f = \frac{na(a+k)}{na+k}, \text{ und}$$
$$k - f = \frac{k(a+k)}{na+k},$$

1) Th. I, pag. 276. Für die dort berechnete Gleichung $x = \frac{afn}{a(n-1)-f}$ ist hier $x = k$.

und da

$$(n-1)a - f = \frac{naf}{k}\ ^{1)},$$

so hat man endlich aus (4):

$$\frac{n(a+k)^2\,(nk+a)x^2}{2(na+k)^2 f} = \frac{nafw}{k},$$

und, wenn man für f den Werth aus (5) nimmt:

$$\frac{n(a+k)^2\,(nk+a)x^2}{2a(na+k)\,(nk-k)} = \frac{n(n-1)a^2 w}{na+k},$$

oder

$$(6)\ w = \frac{(a+k)^2\,(nk+a)x^2}{2a^3 k(n-1)^2}.$$

Dies ist also der Werth der Linie PM, um welche nach der Brechung in der vorderen Seite des Glases die centralen Stralen von denjenigen abweichen, die zu beiden Seiten des Achse innerhalb des Bogens AG einfallen.

Dafs die Stralen in der hinteren Seite eine zwiefache Ablenkung FR und RQ erleiden, ist schon vorhin bemerkt. Der eine Theil FR werde als ein Differential von $AF = \alpha$ angesehen, das von dem Differential $PM = w$ der Linie $AM = k$ abhängig ist: so hat man zwischen α und k, wenn g den Krümmungshalbmesser der hinteren Fläche bedeutet, die Gleichung: [2])

$$\frac{n-1}{g} = \frac{1}{\alpha} - \frac{n}{k},\ \text{aus welcher folgt:}$$

$$0 = -\frac{\partial\alpha}{\alpha^2} + \frac{n\partial k}{k^2},\ \text{und}$$

$$(7)\ \partial\alpha = FR = \frac{n\alpha^2\partial k}{k^2} = \frac{n\alpha^2 w}{k^2} = \frac{n\alpha^2(a+k)^2(nk+a)x^2}{2a^3k^3(n-1)^2}$$

$$= \frac{n\alpha^2x^2}{2(n-1)^2}\left\{\frac{a+k}{ak}\right\}^2\left\{\frac{nk+a}{ak}\right\} = \frac{n\alpha^2x^2}{2(n-1)^2}\left\{\frac{1}{a}+\frac{1}{k}\right\}^2\left\{\frac{n}{a}+\frac{1}{k}\right\}.$$

1) Th. I, pag. 276.
2) *Ibid.*, pag. 277.

Der andere Theil RQ ergiebt sich unmittelbar aus (6), wenn man darin $\frac{1}{n}$ statt n, $-AP = -AM + PM$ statt a, und $AR = AF - FR$ statt k nimmt. Da jedoch die Linien PM und FR in x^2 zu multipliciren sind, so kann man auch $-AM = -k$ statt a, und $AF = \alpha$ statt k setzen, und es ist demnach:

$$(8)\ QR = \frac{(\alpha - k)^2 \left\{ \frac{\alpha}{n} - k \right\} x^2}{2(-k)^3 \alpha \left\{ \frac{1}{n} - 1 \right\}^2} = \frac{n(\alpha - k)^2 (nk - \alpha) x^2}{2\alpha k^3 (1-n)^2}$$

$$= \frac{n\alpha^2 x^2}{2(n-1)^2} \left\{ \frac{1}{\alpha} - \frac{1}{k} \right\}^2 \left\{ \frac{n}{\alpha} - \frac{1}{k} \right\},$$

daher aus (7) und (8) die ganze sphärische Längenabweichung

$$(9)\ FQ = \frac{n\alpha^2 x^2}{2(n-1)^2} \left\{ \left\{ \frac{1}{a} + \frac{1}{k} \right\}^2 \left\{ \frac{n}{a} + \frac{1}{k} \right\} + \left\{ \frac{1}{\alpha} - \frac{1}{k} \right\}^2 \left\{ \frac{n}{\alpha} - \frac{1}{k} \right\} \right\},$$

eine Formel, die für jede Gestalt des Glases giltig ist, für den von Newton berechneten Fall aber, wenn die ebene Seite einer plan-konvexen Linse einem entfernten Gegenstande zugekehrt wird, folglich a sowohl, als auch k unendlich grofs sind, in die einfache Form übergeht:

$$(10)\ FQ = \frac{n^2 x^2}{2(n-1)^2 \alpha} = \frac{n^2 x^2}{2(n-1)^2 p} = \frac{n^2 x^2}{2(n-1) g},$$

weil in diesem Falle α die Brennweite p, und $\frac{n-1}{g} = \frac{1}{p}$ ist.

Der oben angegebene, von Newton berechnete Ausdruck $\frac{n^2 x^3}{8 g^2}$ sollte aber der Halbmesser der kleinsten sphärischen Breitenabweichung einer plan-konvexen Linse sein. Haben also die Buchstaben (Fig. 18.)

F und *Q* dieselbe Bedeutung, wie in Fig. 17., und zieht man, wenn $AG' = AG$ genommen wird, aus *G* und *G'* durch *Q* Linien, die von der in *F* errichteten Senkrechten in *M* und *L* geschnitten werden, so daſs *FM* und *FL* die Halbmesser der sphärischen Breitenabweichung sind: so kommt es jetzt nur noch darauf an, den kleinsten dieser Kreise, durch den alle auf den Bogen *GG'* fallenden Stralen gehen, zu bestimmen.

Man nehme einen Punkt *H* zwischen *A* und *G'*, so daſs der in denselben fallende Stral *EH*, nach seiner Brechung in dem Glase, die Achse in einem Punkte *S* zwischen *F* und *Q* schneidet, und bezeichne das aus *H* auf die Achse gefällte Loth *HA* mit z. Der Durchschnittspunkt von *GL* und *HS* sei *N*, und *ND* die aus *N* auf die Achse gezogene Senkrechte. So wie sich nach (10) die ganze sphärische Längenabweichung von dem Vereinigungspunkte *F* der centralen Stralen durch μx^2 ausdrücken läſst, wenn $\mu = \frac{n^2}{2(n-1)^2 p}$, eben so ist die Längenabweichung der Stralen, die innerhalb des Bogens *AH* auf beiden Seiten der Achse einfallen, $= \mu z^2$. Man hat also, wenn die Bogen der kleinen Abweichungswinkel *AQG* und *ASH* statt ihrer Tangenten genommen werden:

$$FQ = \mu x^2,$$

$$FS = \mu z^2,$$

$$SQ = \mu(x^2 - z^2),$$

$$FL = FQ \,.\, \mathrm{tang}\, FQL = \frac{\mu x^3}{AQ},$$

$$DN = \frac{DQ \,.\, x}{AQ} = \frac{SD \,.\, z}{AS} = \frac{SD \,.\, z}{AQ + \mu(x^2 - z^2)} = \frac{SD \,.\, z}{AQ},$$

folglich

$$DQ : SD = z : x, \text{ oder}$$

$$DQ : SQ = DQ : \mu(x^2 - z^2) = z : z + x,$$

woraus

$$DQ = \mu z(x - z),$$

welche Linie in zwei Fällen ihr Minimum erreicht, wenn entweder $z = 0$, oder $z = x$. Um ihr Maximum zu finden, setze man, indem man bloſs nach z differentiirt, die halbe Apertur x aber als konstant betrachtet, ihr Differential gleich Null, und es ist

$$x\partial z = 2z\partial z, \text{ oder}$$

$$z = \frac{x}{2}, \text{ folglich}$$

$$DQ = \frac{\mu x^2}{4}, \text{ und}$$

$$(11)\ DN = \frac{\mu x^2}{4} \cdot \frac{x}{AQ} = \frac{\mu x^3}{4(AF - FQ)} = \frac{\mu x^3}{4(p - \mu x^2)} = \frac{\mu x^3}{4p}.$$

Es liegt also der Durchschnittspunkt N der Stralen GL und HS, wenn $AH = \frac{AG}{2}$, weiter von der Achse entfernt, als alle übrigen, die durch den Stral GL, und durch die innerhalb des Bogens AG' gebrochenen Stralen entstehen. Daſs aber das auf solche Weise bestimmte Loth ND der Halbmesser des kleinsten sphärischen Abweichungskreises sei, durch den alle zwischen GG' einfallenden Stralen hindurchgehen, ist einleuchtend. Denn einen Kreis zwischen D und Q würden nicht Stralen, wie HS und mehrere andere, einen Kreis aber zwischen D und S nicht Stralen, wie GL und mehrere andere treffen. Diese Linie DN, für welche $AH = \frac{AG}{2}$, ist es also, die Newton berechnet hat, und deren Werth sich, übereinstimmend

mit seiner Rechnung, aus (10) und (11) $= \frac{n^2 x^3}{8(n-1)^2 p^2}$ $= \frac{n^2 x^3}{8 g^2}$ ergiebt.

Auf diesem Wege also, von der Mathematik mit untrüglicher Sicherheit geleitet, überzeugte sich Newton, dafs die Ursache der Undeutlichkeit der Bilder dioptrischer Fernröhre hauptsächlich in der chromatischen Abweichung liege. Denn nimmt man z. B. die halbe Apertur $x = 2$ Zoll, den Krümmungshalbmesser $g = 100$ Zoll, $n = 1{,}55$: so ist der Halbmesser der kleinsten sphärischen Breitenabweichung $= \frac{n^2 x^3}{8 g^2} =$ 0,00024, der Halbmesser der kleinsten chromatischen Breitenabweichung aber $= \frac{x}{55} = 0{,}03636$, und beide Zahlen verhalten sich ungefähr, wie 1 : 150. Sollte sich aber auch dies Verhältnifs für andere Werthe von x und g ganz anders ergeben, so ist doch schon aus der Gestalt der Formeln zu entnehmen, dafs die sphärische Abweichung jedenfalls die viel unbedeutendere Ursache der Undeutlichkeit sei.

Eine Beseitigung des auf den ersten Blick Unerklärlichen, wie bei einer so bedeutenden Farbenzerstreuung die Bilder in den Fernröhren dennoch so deutlich sein können, wie sie es in der That sind, findet Newton theils darin, dafs die Stralen nicht gleichmäfsig auf dem Abweichungskreise zerstreut, sondern im Mittelpunkte und in dessen Nähe unendlich viel dichter sind, als nach dem Umfange hin; theils auch darin, dafs nicht alle homogenen Farben einen gleich lebhaften Eindruck aufs Auge machen. Die glänzendsten sind Gelb und Orange, denen zunächst

Roth und Grün folgen. Blau aber ist eine dunkele Farbe, und noch matter sind Indigo und Violett, so dafs diese drei im Vergleiche mit jenen das Auge nur wenig afficiren. Die Bilder der Objekte sind daher nicht sowohl in den Vereinigungspunkt der Stralen von mittlerer Brechbarkeit, die auf der Grenze des Grün und Blau liegen, als vielmehr in den Vereinigungspunkt der Stralen zu versetzen, welche die unter allen lebhaftesten sind, d. h. in das lebhafteste Gelb, das näher an Orange, als an Grün liegt.[1]) Es ist aber alsdann der Halbmesser der kleinsten chromatischen Breitenabweichung für parallele Stralen nicht mehr der 55ste, sondern nur noch etwa der 250ste Theil der halben Apertur des Objektivs. Denn setzt man die lebhaftesten Stralen genau in die Mitte zwischen Orange und Gelb, so ist für dieselben (pag. 47.):

$$n = \frac{1{,}5425 + 1{,}5467}{2} = 1{,}5446, \text{ und}$$

$$\partial n = 1{,}5446 - 1{,}5425 = 0{,}0021,$$

folglich der Halbmesser der kleinsten chromatischen Breitenabweichung (Fig. 15.):

$$FM = \frac{\partial n}{n-1} AB = \frac{0{,}0021}{0{,}5446} AB = \frac{AB}{259},$$

welcher Werth noch genauer mit dem angegebenen übereinstimmt, wenn man die hellsten Stralen nicht gerade in der Mitte zwischen Gelb und Orange, sondern im lebhaftesten Gelb annimmt.

Aber auch selbst dann, wenn man den Halbmesser der kleinsten chromatischen Breitenabweichung nicht gröfser, als dem 250sten Theile der halben Apertur

1) Von dem Unterschiede zwischen der optischen und geometrischen Mitte des Spektrums wird hernach ausführlicher die Rede sein.

gleich setzt, würde doch die sphärische Breitenabweichung viel unbedeutender, als die chromatische sein. Denn nimmt man wieder in der oben für den Halbmesser der kleinsten sphärischen Breitenabweichung berechneten Formel $\frac{n^2x^3}{8g^2}$ die halbe Apertur $x = 2$ Zoll, und $g = 100$ Zoll, den Halbmesser der kleinsten chromatischen Breitenabweichung aber $= \frac{x}{250}$: so ist freilich das Verhältnifs dieser Halbmesser nicht mehr, wie 1 : 150, aber doch immer noch, wie 1 : 33.

Resultate dieser Art mufsten allerdings in Newton die Meinung erregen, dafs es aufserhalb der Grenzen der Kunst liege, die Bilder der dioptrischen Fernröhre farbenlos zu machen. Noch mehr aber wurde er in diesem Irrthume durch einen Versuch bestärkt, bei welchem er ein gläsernes Prisma in ein prismatisches mit Wasser gefülltes Gefäfs gelegt hatte, und gefunden zu haben glaubte, dafs das Licht, wenn es aus der Luft durch verschiedene, sich berührende Mittel, und aus diesen wieder in die Luft übergeht, es mögen die brechenden Mittel unter sich parallel sein, oder nicht, nur dann farbenlos sei, wenn es in Stralen, die den einfallenden parallel sind, aus dem letzten Mittel herausgetreten ist; dafs sich aber, wenn die austretenden Stralen gegen die einfallenden geneigt sind, der Rand der Bilder jedesmal gefärbt zeige.[1]) Hätte sich diese Beobachtung Newton's in der Folge nicht als eine irrthümliche erwiesen, so würde freilich eine Beseitigung der Farben in den Bildern der dioptrischen Fernröhre nicht möglich gewesen sein, indem

1) *Optice*, lib. I, pars 2. exper. 8. pag. 92.

ein Hauptzweck dieser Instrumente eben darin besteht, die Bilder der Gegenstände zu vergröſsern, und eine Vergröſserung nur dadurch möglich wird, daſs die austretenden Stralen eine andere Richtung, als die einfallenden haben. Aber selbst dieser Irrthum hatte für die Optik ersprieſsliche Folgen, indem Newton, die dioptrischen Fernröhre als unverbesserlich mangelhaft aufgebend, es sich um so mehr angelegen sein lieſs, Gregory's Idee auszuführen, und das erste Spiegel-Teleskop zu Stande zu bringen.

Schon in der Lebensbeschreibung Newton's habe ich erwähnt, daſs er bereits im Jahre 1668. ein kleines Teleskop, bei dem der metallene Objektiv-Spiegel nicht, wie Gregory gewollt hatte, parabolisch und der kleinere Spiegel elliptisch, sondern der erstere sphärisch und der letztere eben war, und bald darauf ein anderes vollkommneres mit eigenen Händen verfertigt habe. Mehr, als diese beiden Instrumente, scheint aus seiner Werkstatt nicht hervorgegangen zu sein; wohl aber macht er in der „Optik" mehrere Vorschläge, durch deren Ausführung er den Spiegel-Teleskopen einen hohen Grad der Vollkommenheit versprechen zu können glaubt. Er räth,[1]) statt eines metallenen Objektiv-Spiegels, der an der Luft leicht oxydire, einen gläsernen (Fig. 19.) *BB* zu nehmen, der an der Vorderseite sphärisch-konkav, an der hinteren mit Amalgam belegten konvex, und überall von gleicher Dicke ist, auf welche letztere Bedingung es ganz besonders ankomme, wenn die Bilder nicht undeutlich werden sollen. Auch bringt er statt des ovalen Plan-Spiegels, den er in seinen beiden ersten Te-

1) *Optice*, lib. I, pars 1. prop. 8. pag. 77.

leskopen genommen hatte, ein gläsernes Prisma *acd* in Vorschlag, das in der Mitte der inwendig geschwärzten Röhre befindlich, mit einem dünnen Stabe *kad* an dieselbe befestigt ist. Der Winkel *c* müsse ein rechter, jeder der beiden anderen *a* und *d* ein halber rechter sein. Wird dann das Prisma so gestellt, dafs die Achse des Spiegels durch die Mitte von *ac* winkelrecht hindurchgeht, folglich unter einem Winkel von 45° gegen die Seite *ad* geneigt ist, und stehen das Prisma und der Spiegel in solcher Entfernung von einander, dafs die vom Spiegel aus konvergirenden Stralen durch die Seite *ac* in das Prisma eintreten, von *ad* reflektirt werden, und durch die Seite *dc* ausgehend, im Punkte *f* zusammentreffen: so müsse das Okular *H* eine solche Lage haben, dafs *f* der gemeinschaftliche Brennpunkt für dasselbe und für den Spiegel wird. Das Prisma müsse so klein sein, als es füglich geschehen kann; dafs die Seite *ad* mit einem Amalgam belegt werde, sei nicht nothwendig. Ein so eingerichtetes Instrument von einer Länge von sechs Fufs, die man von dem Spiegel bis zum Prisma, und von hier bis zum Brennpunkte *f* zu rechnen hat, ertrage eine Apertur von sechs Zoll, und vergröfsere zwei- bis dreihundertmal.

So waren nun also Spiegel-Teleskope von zwiefacher Einrichtung erfunden, das Gregorysche,[1]) bei welchem der kleinere Spiegel konkav, und das Newtonsche, bei dem er eben ist. Der Gedanke, dem

1) Dafs Jakob Gregory die Einrichtung, welche diesem Teleskope zu geben sei, schon im Jahre 1663. in der „*Optica promota*“ bekannt machte, Hooke aber der erste war, der dies Instrument zu Stande brachte, und dafs dies erst im Jahre 1674. geschah, ist schon Th. I, pag. 312. bemerkt worden.

Spiegel-Teleskope noch eine dritte Einrichtung zu geben, und den kleineren Spiegel konvex zu machen, lag daher nahe, und wurde auch bald, nachdem die Entdeckung Newton's in den „Transaktionen" beschrieben, und im Anfange des Jahres 1672.[1]) in Frankreich bekannt geworden war, in demselben Jahre von Cassegrain gefafst, der einem so eingerichteten Reflektor bedeutende Vorzüge, besonders im Betreff der Helligkeit, vor dem Newtonschen versprechen zu können glaubte. Dafs sich dies aber nicht so verhalte, wurde dem Entdecker nicht blofs von Newton selbst,[2]) sondern auch von Anderen nachgewiesen.[3]) Der einzige Vorzug eines Cassegrainschen Teleskopes vor den beiden anderen mögte der sein, dafs es bei derselben Vergröfserung ein wenig kürzer, als jene sein darf. Doch ist diese Differenz, im Vergleich mit einem Gregoryschen Teleskope, nur etwa die doppelte Brennweite des kleineren Spiegels[4]), und dieser Vorzug daher so unbedeutend, dafs er durch die umgekehrte Lage der Bilder in einem solchen Instrumente gewifs aufgewogen wird.

1) *Journal des Sçavans* vom 29. Febr. 1672. pag. 52.

2) *Philos. Trans.* vom 20. Mai 1672. No. 83. *Opusc., ed. Cast.*, tom. II, pag. 308.

3) *Journal des Sçavans* vom 13. Juni 1672. pag. 98.

4) In dem Gregoryschen Teleskope liegt das umgekehrte Bild des Objektiv-Spiegels zwischen diesem, und dem kleineren Konkav-Spiegel, und zwar ein wenig aufserhalb der Brennweite des letzteren, damit durch ihn ein umgekehrtes Bild von jenem umgekehrten, also ein aufrechtes entstehe, welches durch das Okular-Glas vergröfsert gesehen wird. In dem Cassegrainschen Teleskope aber kommt das umgekehrte Bild des Objektiv-Spiegels nicht wirklich zu Stande, es fällt hinter den kleineren Konvex-Spiegel, und zwar ein wenig innerhalb seiner Brennweite, damit das Bild dieses Spiegels vor denselben nach dem Okulare hin reflektirt

Seitdem Newton seine Teleskope zu Stande gebracht hatte, verflofs gerade ein halbes Jahrhundert, ehe man diese Instrumente nach einem gröfseren Maafsstabe auszuführen vermogte. Denn erst im Jahre 1719. verfertigte John Hadley zwei Teleskope von ungefähr 5 Fufs 3 Zoll Länge, von denen er das eine, das einen Spiegel von 6 Zoll im Durchmesser hatte, der Societät überreichte. Bradley verglich es mit dem berühmten Huygensschen Refraktor von 123 Fufs Brennweite, und fand zwar die Deutlichkeit der Bilder in beiden Instrumenten, bei einer gleich starken Vergröfserung, nicht merklich verschieden, doch schien das letztere im Betreff der Helligkeit den Vorzug zu verdienen. Alle die von Huygens gemachten astronomischen Entdeckungen — der Trabanten des Saturn, und dafs dieser von einem Ringe umgeben sei; des Schattens, den die Monde Jupiters auf seine Scheibe werfen u. s. w. — konnte man auch durch das Hadleysche Teleskop deutlich erkennen, ungeachtet es mehr, als 20mal kürzer war, als der Refraktor.

werden könne. Denn wendet man die Gleichung $\frac{1}{p} = \frac{1}{a} + \frac{1}{\alpha}$, in welcher p die Brennweite eines Konkav-Spiegels, a die Entfernung des Gegenstandes, und α die des Bildes vor der spiegelnden Fläche ist, auf den Konvex-Spiegel des Cassegrainschen Teleskopes an, für welchen sowohl p, als auch a (weil das Objektiv-Bild hinter der spiegelnden Fläche desselben liegt) negativ ist: so wird $\alpha = \frac{ap}{p-a}$, dieser Ausdruck also nur dann positiv, und das Bild vor den Spiegel gebracht, wenn $a < p$, das Bild des Objektiv-Spiegels folglich innerhalb der Brennweite des Konvex-Spiegels liegt. Dafs beide Bilder, das des Objektiv- und Konvex-Spiegels, in diesem Falle dieselbe Lage haben, die Bilder im Cassegrainschen Teleskope also umgekehrt erscheinen, folgt aus den Formeln Th. I, pag. 285.

Nachdem die Vorzüglichkeit der Reflektoren, wenn man sie im Grofsen ausführt, hierdurch aufser Zweifel gesetzt war, haben sich seit dieser Zeit besonders die Künstler Englands in der Verfertigung derselben, und zwar gröfstentheils die Gregorysche Einrichtung befolgend, ausgezeichnet. Im Jahre 1724. brachte Molyneux zu Kew, in Verbindung mit Bradley, ein Teleskop zu Stande, das 26 Zoll, und in der Folge sogar eins, das 8 Fufs Brennweite hatte. Auch Hawksbee und Scarlet gehören zu den geschickten Künstlern jener Zeit, deren Ruhm indefs später durch James Short verdunkelt wurde. Die Vorzüglichkeit seiner Teleskope wurde erst durch die Leistungen William Herschel's übertroffen. Nachdem er vorher schon eine Menge kleinerer Reflektoren verfertigt hatte, [1]) wurde sein bekanntes Riesen-Teleskop in Slough von 40 Fufs Länge, mit einem Spiegel von 48 Zollen im Durchmesser, im Jahre 1789. vollendet. Die Einrichtung desselben weicht von der aller übrigen Reflektoren darin ab, dafs es nicht zwei, sondern nur diesen einen Spiegel hat, und dafs die Achse desselben nicht auf das Objekt, sondern so gerichtet wird, dafs die einfallenden Stralen gegen dieselbe ein wenig geneigt sind. Es entsteht alsdann an dem unteren Rande der Röhrenöffnung das Bild, welches durch ein Okular, indem der Beobachter dem Spiegel das Gesicht zukehrt, betrachtet wird. Denn der Verlust, den das Licht bei einem so grofsen Spiegel dadurch erleidet, dafs es von dem Kopfe des Beobachters aufgefangen wird, ist nicht so grofs, wie der, den es nach der Newtonschen oder Gregoryschen Einrichtung durch

1) Brewster im „Leben Newton's", pag. 28.

die Zerstreuung von dem kleineren Spiegel erleiden würde.

Die Tiefen des Universums, in welche Herschel mit diesem Teleskope gedrungen ist, würden uns jetzt noch verborgen sein, wenn es nicht in dem Plane der Vorsehung gelegen hätte, das Leben dieses so thätigen und einsichtsvollen Mannes an die Regierung eines Fürsten zu knüpfen, der, wie Georg III., kein Opfer da scheuete, wo es auf die Gewinnung eines allen Völkern und Zeiten gemeinsamen Gutes, auf die Gewinnung würdiger Begriffe von der Allmacht des Schöpfers ankam. Auch nach dem Tode Herschel's sind neue Anstrengungen zur Verbesserung der Teleskope, die in der Vollendung, in welcher man sie jetzt schon kennt, immer noch den besten Refraktoren vorzuziehen sind, aufgeboten worden, wie dies namentlich von Airy, John Herschel, dem Sohne des berühmten Vaters, von Ramage und dem Lord Oxmantown geschehen ist, ohne dafs man jedoch weiter in die Tiefen des Universums eindringen, oder auch nur Aehnliches, wie Herschel leisten konnte.

Zum Schlusse dieser Abhandlung will ich noch bemerken, dafs Newton nicht blofs bei den Fernröhren, sondern auch bei den Mikroskopen statt des Objektiv-Glases einen Spiegel, um die Farbenzerstreuung zu vermindern, in Vorschlag brachte. Er will nämlich, dafs man dem Spiegel (Fig. 20.) *BB* eine elliptische Krümmung gebe, und in den einen Brennpunkt *F* das Objekt bringe, während der andere *f* der Vereinigungspunkt des Spiegels, und zugleich der Brennpunkt des Okulars *H* ist;[1]) ein Gedanke, den erst in der neue-

1) *Opusc.*, *ed. Cast.*, tom. II, pag. 285.

sten Zeit Amici [1]) auf eine zweckmäfsigere Weise ausgeführt hat, indem er das Objekt nicht in die Achse des Spiegels bringt, sondern vielmehr zwischen den elliptischen Spiegel (Fig. 21.) *A* und das Okular *B* einen Plan-Spiegel *C* unter einem Winkel von 45° gegen die Achse des elliptischen Spiegels stellt, so dafs die Stralen des mikroskopischen Gegenstandes, der auf dem durchsichtigen Objekt-Halter *D* liegt, und durch den Spiegel *E* erleuchtet wird, erst nach ihrer Reflexion in *C* auf den elliptischen Spiegel *A* fallen. [2])

Die Anwandlungen der leichteren Transmission oder Reflexion.

Als Newton die Seiten zweier Prismen, die zufällig ein wenig gekrümmt waren, an einander drückte, bemerkte er, dafs sich um die Stelle, wo sie sich berührten, Farbenringe zeigten, die sich bei zunehmendem Drucke immer mehr erweiterten, dafs aber die Berührungsstelle selbst, wenn man sie im reflektirten

1) *Memoria di Microscopi catadioptrici. Modena*, 1818.

2) Nach einer Behauptung John Herschel's (Astron., übers. von Michaelis, pag. 121.) würde man Newton'n auch für den Erfinder des Spiegel-Sextanten zu halten haben, dieses besonders für die Schifffahrt unentbehrlichen Instrumentes, dessen Erfindung man sonst überall Hadley'n zugeschrieben, und erst in das Jahr 1731. gesetzt findet. Newton habe eine Beschreibung dieses Instrumentes an Halley (gest. 1742.) mitgetheilt, der sie aber nicht bekannt machte. Erst nach dem Tode Halley's, funfzehn Jahre nach dem Tode Newton's, und eilf Jahre nach der Bekanntmachung des Instrumentes durch Hadley, habe der Testaments-Vollstrecker unter den Papieren Halley's auch jene von Newton mit eigener Hand geschriebene Abhandlung gefunden, und sie der Societät mitgetheilt. — Es wäre dies ein neuer Beweis für die grofse Bescheidenheit Newton's, die ihn selbst seine wichtigsten Entdeckungen vergessen liefs.

Lichte sahe, wie ein schwarzer Fleck, und wenn man durch sie hindurchsahe, wie eine Oeffnung im Glase erschien, durch welche die vorliegenden Gegenstände erkannt werden konnten. Newton erklärt sich nicht darüber, ob er diese Bemerkung zufällig gemacht habe, oder ob er durch die von Boyle über die Farben der Seifenblasen, und von Hooke über die Farben dünner Glimmerblättchen angestellten Beobachtungen planmäſsig auf dieselbe geleitet worden sei; doch dies, sagt er, wäre ihm gleich anfänglich nicht zweifelhaft gewesen, daſs hier die Farben von der, zwischen den Seiten der beiden Prismen befindlichen dünnen Luftschicht auf dieselbe Weise abhängen, wie bei den Seifenblasen von dem in eine dünne Lamelle ausgedehnten Wasser, und bei dem Glimmer von der Dünne der Blättchen.[1])

Lebhafter traten jene Farbenringe hervor, wenn statt der Prismen sphärisch geschliffene Gläser genommen wurden, entweder ein doppelt-konvexes von einem groſsen Krümmungshalbmesser auf die ebene Seite eines plan-konvexen gelegt, oder ein plan-konvexes, mit seiner konvexen Seite an ein plan-paralleles gedrückt. Mit Inbegriff des sehr schwarzen Kreises, der unmittelbar an der Berührungsstelle der Gläser erschien, zeigten sich aber bei dieser Vorrichtung die Farben der sieben ersten Ringe in reflektirtem Lichte in folgender Ordnung (Fig. 22.):

1. Sehr schwarz, schwarz (*a*), blau (*b*), mattweiſs (*c*), gelb (*d*), orange, roth (*e*);
2. Violett (*f*), blau (*g*), grün, gelb (*i*), orange, roth;

1) Newton handelt von diesen Farben in dem ersten und zweiten Theile des zweiten Buches der „Optik“.

3. Purpur, blau (*m*), grün, gelb (*o*), roth, bläulich-roth;
4. Bläulich-grün, grün, gelblich-grün, roth (*r*);
5. Grünlich-blau, blafsroth (*t*);
6. Grünlich-blau, blafsroth (*x*);
7. Sehr blasses blau-grün, röthlich-weifs (*z*),

und zwar so, dafs, wie dies auch in der Figur angedeutet ist, die hellen Ringe sowohl, als auch die von Violett und Blau gebildeten dunkelen um so schmaler wurden, je weiter sie sich von der Berührungsstelle beider Gläser entfernten.

Auch im durchgegangenen Lichte, wenn man durch die beiden sich berührenden Gläser hindurchsahe, wurden mattere Farbenringe sichtbar, so jedoch, dafs die Stellen, die sich in reflektirtem Lichte hell gezeigt hatten, im durchgelassenen dunkel erschienen, und dafs dem Rothen, Gelben und Grünen im reflektirten Lichte, das Blaue, Violette und Bläulich-Rothe im durchgelassenen entsprach.

So wie Newton bei einer jeden Farbenerscheinung seine Aufmerksamkeit zuerst auf das Zahlengesetz richtete, das ihr zum Grunde liegen mögte: so suchte er auch hier vor allem, die zu den hellsten Stellen einer jeden Farbenreihe gehörige Tiefe der Luft für eine möglichst senkrechte Stellung des Auges zu finden, indem er sich dabei eines doppelt-konvexen Glases bediente, das auf beiden Seiten einen Krümmungshalbmesser von ungefähr 50 Englischen Fufs hatte, und auf die ebene Seite eines plan-konvexen gelegt war, dessen Krümmungshalbmesser 7 Fufs betrug. Aus dem Satze, dafs die Tangente eines kleinen Kreisbogens sich als die mittlere Proportional-Linie zwischen der Entfernung ihres Endpunktes von

dem Kreise, und dem Durchmesser desselben ansehen läfst, ergab sich bei dieser Vorrichtung die zu jedem Farbenringe gehörige Tiefe der Luftschicht, wenn das Quadrat des gemessenen Halbmessers eines jeden Ringes durch den bekannten Durchmesser des doppelt-konvexen Glases dividirt wurde. Dadurch, dafs sich die Durchmesser der hellsten Stellen nicht auf der unteren, an die Luftschicht grenzenden, sondern nur auf der oberen Fläche des doppelt-konvexen Glases in den Cirkel nehmen liefsen, und die Stralen nicht genau senkrecht auf die Luftschicht fielen, wurden Korrektionen nöthig, die Newton nicht unbeachtet liefs, so wie er überhaupt diese Messungen mit aller erdenklichen Sorgfalt ausführte.

Dies ist das Verfahren, durch welches Newton das einfache, und von Allen, die nach ihm diese Messungen wiederholt haben, bestätigte Gesetz fand, dafs die Tiefe der Luft an der Stelle der ersten Farbenreihe, wo das Licht (zwischen Weifs und Gelb) am lebhaftesten reflektirt wird, $\frac{1}{178000} = 5{,}618$ Milliontel eines Englischen Zolles, an der Stelle aber, wo es (zwischen Gelb und Orange) in der zweiten Farbenreihe am hellsten zurückgeworfen wird, $\frac{3}{178000}$, an derselben Stelle (im Gelb) in der dritten Farbenreihe $\frac{5}{178000}$ u. s. w. beträgt, die Tiefe der Luft an diesen Stellen also sich, wie die ungeraden Zahlen 1, 3, 5, 7.... verhält, dafs dagegen die Luft an den Stellen der dunkelen Ringe, wo sie am dunkelsten sind, $\frac{2}{178000}$, $\frac{4}{178000}$, $\frac{6}{178000}$ u. s. w. eines Englischen Zolles tief ist, hier folglich ihre Dicke im Verhältnisse der geraden Zahlen steht, dafs sie daher an den abwechselnd hellsten und dunkelsten Stellen der Farbenreihen das Gesetz der natürlichen Zahlenreihe be-

folgt, welches zugleich, weil der Durchmesser des Konvex-Glases konstant ist, für die Quadrate der Durchmesser oder Halbmesser der entsprechenden Ringe gilt. Dafs sich umgekehrt beim durchgelassenen Lichte die Quadrate der Halbmesser der dunkelen Ringe, wie die ungeraden, und die der hellen, wie die geraden Zahlen verhalten, ergiebt sich hieraus, und aus dem vorhin Gesagten.[1])

Brachte Newton Wasser zwischen die Gläser, so betrugen die Durchmesser der Ringe nur noch $\frac{7}{8}$ von den Durchmessern derjenigen, die sich, sobald zwischen den Gläsern blofs Luft gewesen war, von derselben Farbe in derselben Reihe gezeigt hatten. Die Dicke des Wassers beträgt daher $\frac{49}{64}$ von der zugehörigen Dicke der Luft. Der Bruch $\frac{49}{64}$ kommt aber dem Bruche $\frac{3}{4}$, dem Brechungsverhältnisse aus Wasser in Luft sehr nahe, und man würde daher, wäre man hiernach schon berechtigt, dasselbe für durchsichtige Lamellen von jeder anderen Substanz, deren Brechungsverhältnifs in die Luft n sei, anzunehmen, die Dicke dieser Substanz, wenn die entsprechende der Luft a ist, durch die Formel na erhalten.

Newton scheuete selbst die überaus grofse Mühe nicht, die Dicke der Luft für eine jede Farbe in den sieben Reihen zu berechnen, und theilt die Resultate, die er fand, so mit, wie sie folgende Tabelle enthält, in welcher die für die Dicke der Schichten angegebenen Zahlen Milliontel eines Englischen Zolles, und die Wasser- und Glasschichten nach der eben angegebenen Formel bestimmt sind:[2])

1) *Optice*, lib. II, pars 1. observ. 6. pag. 149.
2) *Optice*, lib. II, pars 2. pag. 175.

Folge der Farbeuringe.	Farben der Ringe.		Dicke der Schichten in Millionteln eines Englischen Zolles.		
	Reflektirt.	Durchgelassen.	Luft.	Wasser	Glas.
1ste	Sehr schwarz.	....	$\frac{1}{2}$	$\frac{3}{8}$	$\frac{10}{31}$
	Schwarz.	Weifs.	1	$\frac{3}{4}$	$\frac{20}{31}$
	Blau.	Gelblich-roth.	$2\frac{2}{5}$	$1\frac{4}{5}$	$1\frac{11}{20}$
	Weifs.	Schwarz.	$5\frac{1}{4}$	$3\frac{7}{8}$	$3\frac{2}{5}$
	Gelb.	Violett.	$7\frac{1}{9}$	$5\frac{1}{3}$	$4\frac{3}{5}$
	Orange.	....	8	6	$5\frac{1}{6}$
	Roth.	Blau.	9	$6\frac{3}{4}$	$5\frac{4}{5}$
2te	Violett.	Weifs.	$11\frac{1}{6}$	$8\frac{3}{8}$	$7\frac{1}{5}$
	Indigo.	....	$12\frac{5}{6}$	$9\frac{5}{8}$	$8\frac{2}{11}$
	Blau.	Gelb.	14	$10\frac{1}{2}$	9
	Grün.	Roth.	$15\frac{1}{8}$	$11\frac{1}{3}$	$9\frac{5}{7}$
	Gelb.	Violett.	$16\frac{2}{7}$	$12\frac{1}{5}$	$10\frac{2}{5}$
	Orange.	....	$17\frac{2}{9}$	13	$11\frac{1}{9}$
	Hellroth.	Blau.	$18\frac{1}{3}$	$13\frac{3}{4}$	$11\frac{5}{6}$
	Scharlach.	....	$19\frac{2}{3}$	$14\frac{3}{4}$	$12\frac{2}{3}$
3te	Purpur.	Grün.	21	$15\frac{3}{4}$	$13\frac{11}{20}$
	Indigo.	....	$22\frac{1}{10}$	$16\frac{4}{7}$	$14\frac{1}{4}$
	Blau.	Gelb.	$23\frac{2}{5}$	$17\frac{11}{20}$	$15\frac{1}{10}$
	Grün.	Roth.	$25\frac{1}{5}$	$18\frac{9}{10}$	$16\frac{1}{4}$
	Gelb.	....	$27\frac{1}{7}$	$20\frac{1}{3}$	$17\frac{1}{2}$
	Roth.	Bläulich-grün.	29	$21\frac{3}{4}$	$18\frac{5}{7}$
	Bläulich-roth.	....	32	24	$20\frac{2}{3}$
4te	Bläulich-grün.	....	34	$25\frac{1}{2}$	22
	Grün.	Roth.	$35\frac{2}{7}$	$26\frac{1}{2}$	$22\frac{3}{4}$
	Gelblich-grün.	....	36	27	$23\frac{2}{9}$
	Roth.	Bläulich-grün.	$40\frac{1}{3}$	$29\frac{3}{4}$	26
5te	Grünlich-blau.	Roth.	46	$34\frac{1}{2}$	$29\frac{2}{3}$
	Blafsroth.	....	$52\frac{1}{2}$	$39\frac{3}{8}$	34
6te	Grünlich-blau.	....	$58\frac{3}{4}$	44	38
	Blafsroth.	....	65	$48\frac{3}{4}$	42
7te	Sehr blasses Blau-grün.	....	71	$53\frac{1}{4}$	$45\frac{4}{5}$
	Röthlich-weifs.	....	77	$57\frac{3}{4}$	$49\frac{2}{3}$

Diese Zahlen hatte Newton, wie schon gesagt ist, für eine senkrechte Stellung des Auges über den Gläsern berechnet. Liefs er die Stralen in schiefer Richtung in dasselbe fallen, so rückten die Farben nach anderen Stellen hin, wo die Dicke der Luftschicht gröfser war. Bei einem Einfallswinkel von 30° z. B. entstand eine Farbe da, wo die Luft $1\frac{2}{3}$mal so dick, bei einem Einfallswinkel von 40° da, wo sie $8\frac{2}{5}$mal so dick war, als an der Stelle, wo sich dieselbe Farbe in derselben Reihe bei senkrechten Stralen gezeigt hatte. [1])

Dafs die Farben der Seifenblasen und anderer Flüssigkeits-Lamellen, die man in reflektirtem Lichte bemerkt, in der That keine anderen sind, als die, welche durch eine Luft-Lamelle von zunehmender Tiefe entstehen, fand Newton durch eine wiederholte Beobachtung der halbkugelförmigen Seifenblasen bestätigt, die man erhält, wenn man Luft in Seifenwasser durch ein Rohr bläst. Denn auch hier nimmt die Dicke des Wassers, das durch seine Schwere fällt, nach unten hin ununterbrochen zu, so dafs der Gipfel der Blase um so dünner wird, je länger sie steht, und das Zerspringen derselben zuerst an diesem erfolgt. Daher kommt es auch, dafs die um den Gipfel koncentrischen Ringe ihre Farbe beständig wechseln, indem eine jede dahin sinkt, wo das Wasser die zu ihrem Entstehen erforderliche Dicke hat, und an ihrer Stelle eine andere sichtbar wird. [2])

Alle diese Beobachtungen hatte Newton im heterogenen Tageslichte gemacht. So wie er aber eine jede seiner optischen Untersuchungen so weit, wie es

1) *Optice*, lib. II, pars 1. observ. 7. pag. 149.
2) *Ibid.*, observ. 18. pag. 159.

ihm möglich war, verfolgte: so unterliefs er es auch hier nicht, die farbigen Ringe, die sich im homogenen Lichte zeigen würden, zu betrachten. In dieser Absicht liefs er in einem dunkelen Zimmer die prismatischen Farben nach und nach auf ein weifses Papier fallen, indem er seinen Augen eine solche Stellung gab, dafs er jede Farbe in den Gläsern, wie in einem Spiegel sahe. Fiel nur rothes Licht auf die Gläser, so wechselten auch nur rothe und dunkele Ringe mit einander ab; war das Licht nur gelb, so zeigte sich auch nur eine Folge von gelben und dunkelen Ringen, und eben so verhielt es sich mit den übrigen homogenen Farben; die Zahl der Ringe war aber gröfser, und ihre Farbe lebhafter, als bei dem Tageslichte, auch waren die Ringe im rothen Lichte die breitesten, und die im violetten die schmalsten, während die der übrigen, zwischen diesen liegenden Farben eine mittlere Gröfse hatten. Im Uebrigen war jedoch die Erscheinung übereinstimmend mit der bei heterogenen Stralen. So zeigten sich die Stellen, die bei der Reflexion farbig gewesen waren, im durchgelassenen Lichte dunkel; auch befolgte nicht allein die Dicke der Luft an den hellsten Stellen der hellen Ringe, und an den dunkelsten der dunkeln, sondern auch die Breite der Ringe dasselbe Gesetz, wie bei der Tageshelle. [1])

Die hier beschriebene Folge der Ringe bei einfarbigem (monochromatischem) Lichte war es, durch welche Newton auf jene Hypothese über die Natur des Lichtes, die unter dem Namen der Anwandlungen einer leichteren Transmission oder Reflexion (*Accessus* (*vices*) *facilioris transmissus aut facilioris reflexionis; Fits of easy Transmission or*

1) *Optice*, lib. II, pars 1. observ. 12. pag. 154.

of easy Reflexion) berühmt ist, geleitet wurde. Nichts anderes aber versteht er unter diesen Anwandlungen, als die einem jeden homogenen Strale zukommende, und in gleichen Abständen wiederkehrende Eigenschaft, beim Durchgange durch zwei verschiedene Mittel bald leichter durchgelassen, bald leichter reflektirt werden zu können, — eine Eigenschaft, auf welche ihn jene monochromatischen Farbenringe nothwendig führen mufsten. Denn zeigen sich, sobald man z. B. blofs rothes Licht auf das plan-parallele Glas (Fig. 23.) *BB* und das plan-konvexe *AA* fallen läfst, um einen dunkelen Kreis in *C*, wo beide Gläser sich berühren, abwechselnd rothe und dunkele Ringe: so schien dies nur dadurch erklärbar zu sein, dafs die rothen Stralen abwechselnd reflektirt und durchgelassen werden. Während nämlich alles um *C* einfallende rothe Licht *OC* durch beide Gläser hindurchgeht, und dadurch für das Auge *O* einen dunklen Kreis um *C* bewirkt, wird es in *D*, nachdem es durch eine gröfsere Luftschicht gegangen ist, nach *O* hin reflektirt, und zeigt sich, weil die Luftschicht ringsum von derselben Dicke ist, in Gestalt eines rothen Ringes; in *E*, bei einer noch grösseren Luftschicht, wird es wieder durchgelassen u. s. w. Da nun auch bei jeder anderen homogenen Farbe helle und dunkele Ringe mit einander abwechseln, und die Tiefe der Luft an den Stellen dieser Ringe, wo die Reflexion am lebhaftesten oder schwächsten ist, das Gesetz der natürlichen Zahlenreihe befolgt: so schien sich hieraus nicht allein zu ergeben, dafs jene Disposition, bald leichter durchgelassen, bald leichter reflektirt werden zu können, allen homogenen Stralen eigen sei, sondern dafs sie auch bei einer jeden Gattung derselben in gleichen Abständen wiederkehre.

Hierdurch war nun zugleich die Folge der mono-

chromatischen Ringe beim durchgelassenen Lichte, und die Entstehung der verschiedenfarbigen Ringe, die sich bei der Tageshelle zeigen, erklärt. Denn hätten die Ringe aller homogenen Farben genau denselben Durchmesser, so könnte nur, weil sich alsdann in den hellen Ringen alle prismatischen Farben mischen würden, eine abwechselnde Folge von hellen und dunkelen Ringen entstehen. Da aber die Ringe einer jeden Farbe einen anderen Durchmesser haben, die rothen am breitesten, die violetten am schmalsten, und die der mittleren Farben von einer mittleren Gröfse sind: so decken sich die homogenen Stralen nur zum Theil, und bringen eben dadurch jene Abwechslung der Farben hervor.

Um genauer zu prüfen, ob dies in der That die Ursache der verschiedenfarbigen Ringe sei, die sich bei dem Tageslichte zeigen, maafs Newton noch die Dicke der Luft bei senkrechter Incidenz der Stralen für die Grenzen der sieben prismatischen Farben. Er liefs die äufsersten violetten Stralen auf die Gläser fallen, und suchte die mittlere Dicke der Luft in irgend einem Ringe, z. B. dem zweiten. Er brachte hierauf die Ringe durch die äufsersten indigofarbenen Stralen hervor, und maafs die mittlere Dicke der Luft wieder in dem zweiten Ringe. Eben so machte er es mit den übrigen sechs Grenzen der Farben des Spektrums, und es stimmten die, in den gleichvielten Ringen gemessenen mittleren Luftdicken am meisten mit der Rechnung überein, wenn er annahm,[1]) dafs sie den Kubik-Wurzeln aus den Quadraten der Zahlen $\frac{1}{2}$, $\frac{9}{16}$, $\frac{3}{5}$, $\frac{2}{3}$, $\frac{3}{4}$, $\frac{5}{6}$, $\frac{8}{9}$, 1 proportional sind. Da er aus eben diesen Brüchen, wie wir oben gesehen haben, die Analogie zwischen den Farben und Tönen ableitete, so könnte man

1) *Optice*, lib. II, pars 1. observ. 14. pag. 155.

dies Zahlengesetz für ungenau halten; es stimmen jedoch, wie sich sogleich zeigen wird, die aus demselben gezogenen Folgerungen so wohl mit der Erfahrung überein, dafs die wahre Dicke der Luftschichten von der nach diesem Gesetze berechneten wenigstens nicht merklich verschieden sein kann. Ist also a die mittlere Dicke der Luft für die äufsersten rothen Stralen, so ist sie

für die äufsersten violetten $= a(\frac{1}{4})^{\frac{1}{3}} = 0{,}6300\, a$,
für die Grenze zwischen Violett und Indigo $= a(\frac{81}{256})^{\frac{1}{3}}$
$= 0{,}6814\, a$,
für die Grenze zwischen Indigoblau und Blau $= a(\frac{9}{25})^{\frac{1}{3}}$
$= 0{,}7114\, a$,
für die Grenze zwischen Blau und Grün $= a(\frac{4}{9})^{\frac{1}{3}}$
$= 0{,}7631\, a$,
für die Grenze zwischen Grün und Gelb $= a(\frac{9}{16})^{\frac{1}{3}}$
$= 0{,}8255\, a$,
für die Grenze zwischen Gelb und Orange $= a(\frac{25}{36})^{\frac{1}{3}}$
$= 0{,}8855\, a$,
für die Grenze zwischen Orange und Roth $= a(\frac{64}{81})^{\frac{1}{3}}$
$= 0{,}9243\, a$.

Da die hellsten unter allen diesen Stralen die auf der Grenze zwischen Gelb und Orange liegenden sind, und man daher auch annehmen mufs, dafs die hellsten Stellen in allen, beim Tageslichte entstehenden vielfarbigen Ringen durch eben jene, auf der Grenze zwischen Gelb und Orange liegenden Stralen hervorgebracht werden:[1]) so hat man, da die Dicke der Luft an der hellsten, zwischen Weifs und Gelb gelegenen

2) *Optice*, lib. II, pars 2. pag. 173. *Jam si igitur lumen, in istis crassitudinibus* $\frac{1}{178000}$, $\frac{3}{178000}$ .... *copiosissime reflexum, sit flavum citrinum clarius, sive confinium flavi et aurei* etc.

Stelle in der ersten Farbenreihe 5,618 Milliontel eines Englischen Zolles gefunden ist, $5{,}618 = 0{,}8855\,a$, und a, die mittlere Dicke der Luft für die äufsersten rothen Stralen im ersten Ringe, $= 6{,}34$. Die Dicke der Luft für den Anfang eben dieser Stralen ist daher $\frac{a}{2} = 3{,}17$, und für das Ende derselben $= \frac{3a}{2} = 9{,}5$ Milliontel eines Zolles. Da nun die mittleren Dicken der Luft auch in den durch die Grenzen der prismatischen Farben hervorgebrachten Ringen das Gesetz der natürlichen Zahlenreihe befolgen, so ist die mittlere Dicke der Luft für die äufsersten rothen Stralen im zweiten Ringe $= 3a = 19{,}02$, für den Anfang dieser Stralen $= \frac{5a}{2} = 15{,}9$, für das Ende derselben $= \frac{7a}{2} = 22{,}2$ u. s. w. Eben so ist für den inneren Rand der äufsersten violetten Stralen im ersten Ringe die Dicke der Luft $= 0{,}6300 \frac{a}{2} = 2$, und für den äufseren Rand $= 0{,}6300 \frac{3a}{2}$ $= 6$ u. s. w.

Setzt man diese Rechnungen für alle sieben Ringe einer jeden Grenze der prismatischen Farben fort, so erhält man die Dicke der Luft in Millionteln eines Englischen Zolles so, wie sie in folgender Tabelle [1]) angegeben ist:

1) **Newton selbst hat diese Tabelle nicht berechnet; dies that zuerst Biot.** ***Traité de Physique. Paris*****, 1816. tom. IV, pag. 53.**

Folge der Ringe.	Innerer und äufserer Rand.	Grenze des Violett.	Grenze des Violett und Indigoblau.	Grenze des Indigoblau und Blau.	Grenze des Blau und Grün.	Grenze des Grün und Gelb.	Grenze des Gelb und Orange.	Grenze des Orange und Roth.	Grenze des Roth.
1ster	Innerer Rand	2,0	2,2	2,3	2,4	2,6	2,8	2,9	3,2
	Aeufserer Rand	6,0	6,5	6,8	7,3	7,9	8,4	8,8	9,5
2ter	Innerer Rand	10,0	10,8	11,3	12,1	13,1	14,0	14,7	15,9
	Aeufserer Rand	14,0	15,1	15,8	16,9	18,3	19,7	20,5	22,2
3ter	Innerer Rand	18,0	19,5	20,3	21,8	23,6	25,3	26,4	28,5
	Aeufserer Rand	22,0	23,8	24,8	26,6	28,8	30,9	32,3	34,9
4ter	Innerer Rand	26,0	28,1	29,3	31,5	34,0	36,5	38,1	41,2
	Aeufserer Rand	30,0	32,4	33,9	36,3	39,3	42,1	44,0	47,6
5ter	Innerer Rand	34,0	36,7	38,4	41,2	44,5	47,8	49,8	53,9
	Aeufserer Rand	38,0	41,1	42,9	46,0	49,8	53,4	55,7	60,3
6ter	Innerer Rand	42,0	45,4	47,4	50,8	55,0	59,0	61,6	66,6
	Aeufserer Rand	46,0	49,7	51,9	55,7	60,2	64,6	67,4	73,0
7ter	Innerer Rand	50,0	54,0	56,4	60,5	65,5	70,2	73,3	79,3
	Aeufserer Rand	54,0	58,4	60,9	65,4	70,7	75,8	79,2	85,6

Im ersten Ringe wird also, bis die Dicke der Luft 2 Milliontel eines Zolles beträgt, gar kein Licht reflektirt; bis hierher mufs sich folglich, wenn man die Gläser in reflektirtem Lichte sieht, ein schwarzer Kreis zeigen. Von dem Abstande 2 bis 2,4 werden nur violette und blaue Stralen zurückgeworfen; an den schwarzen Kreis mufs sich also ein schmaler blauer Ring anschliefsen. Bei dem Abstande 2,9 der beiden Gläser mischen sich schon alle prismatischen Farben, und diese Mischung reicht bis zum Ende des Violett,

also bis zu dem Abstande 6. Es muſs also auf den blauen Ring ein viel breiterer weiſser folgen. Zwischen den Abständen 6 und 8,4 sind die gelben und orangefarbenen Stralen die vorherrschenden, und zwischen 9 und 9,5 werden ausschlieſslich rothe reflektirt. Nach dem weiſsen Ringe muſs sich also ein gelber, nach diesem ein orangefarbener zeigen, und hierauf ein rother die erste Farbenreihe schlieſsen. Auf diesen Ring muſs nun ein sehr schmaler schwarzer Kreis folgen, weil von 9,5 bis 10 wieder gar kein Licht reflektirt wird. Von 10 bis 10,8 werden nur violette Stralen, von 10,8 bis 12,1 nur violette und blaue u. s. w. reflektirt. Der letzte Ring in dieser zweiten Farbenreihe, der rothe, kann von der dritten nicht, wie die erste von der zweiten, durch einen schwarzen Kreis geschieden sein, sondern es greift die zweite Farbenreihe in die dritte über, weil das äuſserste Roth der zweiten von 15,9 bis 22,2, und das Violett der dritten von 18 bis 22 reicht, und es muſs daher die dritte Reihe mit Purpur anfangen u. s. w. Dieses Uebergreifen der einen Farbe in die andere findet bei den folgenden Reihen in immer gröſserem Maaſse Statt, so daſs schon an jeder Stelle der siebenten Reihe zwischen den Grenzen 50 und 85,6 (wegen des Uebergreifens der Farben aus der fünften und sechsten) alle prismatischen Stralen gemischt vorkommen, und nur an der einen Seite die blauen und grünen, und an der anderen die gelben und rothen vorherrschen, daſs man für diese Reihe daher auch nur ein sehr blasses Blaugrün, und ein röthliches Weiſs erhalten kann. Die hier gefundenen Farben stimmen also mit den durch die Beobachtung (pag. 93.) gegebenen so wohl überein, daſs die Vermuthung Newton's, es mögten die vielfarbigen Ringe beim Tageslichte durch die verschie-

dene Brechbarkeit desselben entstehen, hierdurch bestätigt wurde. Auch ergab es sich zugleich, weshalb diese Art der Farbenringe nur durch eine dünne Lamelle hervorgebracht werden könne, da die Dicke derselben am Ende der siebenten Farbenreihe, wo schon alle prismatischen Stralen zu weifsem Lichte gemischt sind, erst 85,6 Milliontel eines Zolles beträgt.

Die Tabelle ist für die Annahme berechnet, dafs die im prismatischen Bilde auf der Grenze zwischen Gelb und Orange liegenden Stralen die hellsten sind. Nun giebt die Erfahrung, dafs die hellste Stelle in der ersten Farbenreihe ungefähr auf der Grenze zwischen Weifs und Gelb da liegt, wo die Dicke der Luft 5,618 Milliontel eines Zolles beträgt; in der zweiten Farbenreihe zwischen Gelb und Orange da, wo jene Dicke $= 16{,}854$; in der dritten im Gelb da, wo sie $= 28{,}09$ u. s. w. Eben dies folgt aber auch aus der Tabelle. In der ersten Farbenreihe erstreckt sich Gelb und Orange von 2,6 bis 8,8, und die Mitte 5,7 hiervon ist ungefähr die Tiefe der Luft an der Stelle, wo der weifse Ring endigt, der bis zum äufseren Rande des Violett reicht. In der zweiten Reihe erstreckt sich Gelb und Orange von 13,1 bis 20,5, und die Mitte 16,8 hiervon ist jene durch die Beobachtung gegebene Luftdicke, die der Mitte $\frac{13{,}1 + 19{,}7}{2} = 16{,}4$ des Gelb nicht ganz entspricht, sondern mehr dem Uebergange aus Gelb in Orange angehört. In der dritten Reihe, wo sich Gelb und Orange schon mehr mit anderen Farben mengen, reicht diese Mischung ven 23,6 bis 32,3, und die Mitte 28 hiervon ist die oben angegebene Tiefe der Luft u. s. w.

Aus der obigen Tabelle läfst sich endlich auch der Abstand, innerhalb dessen ein Lichtstral irgend

einer Gattung aus einer Anwandlung in eine gleiche zurückkehrt, das Intervall [1]) der Anwandlungen (*Intervallum vicium*, *Interval of Fits*) entnehmen. Ein Stral z. B., der an der Grenze des Violett liegt, wird reflektirt, wenn die Dicke der Luftschicht zwischen 2 und 6, am lebhaftesten also, wenn sie $\frac{2+6}{2}$ $= 4$ Milliontel Zoll beträgt. Hat die Luftschicht die Dicke 6 bis 10, so findet keine Reflexion dieses Strales Statt, sondern er befindet sich in der Anwandlung, durchgelassen zu werden, und zwar am vollkommensten in dieser Disposition, wenn die Dicke der Luftschicht $\frac{6+10}{2} = 8$ ist. In der Mitte zwischen 10 und 14, also wenn 12 die Dicke der Luftschicht ist, wird derselbe wieder am vollkommensten reflektirt u. s. w. Das Intervall der Anwandlungen für diesen Stral ist also 8 Milliontel Zoll. Auf dieselbe Weise findet man das Intervall der Anwandlungen eines auf der Grenze des Roth liegenden Strales $= 12{,}7$ Milliontel Zoll. **Die Intervalle der Anwandlungen sind also bei den rothen Stralen am gröfsten, und bei den violetten am kleinsten.** Wie hiermit die verschiedene Breite der monochromatischen Ringe zusammenhänge, ist gleichfalls aus der Tabelle ersichtlich.

Aehnliche Farbenreihen können, wie Newton fand, auch durch dickere, durchsichtige und polirte Scheiben hervorgebracht werden, [2]) z. B. durch einen gläsernen Spiegel, der $\frac{1}{4}$ Zoll dick, auf der einen Seite hohl, auf der anderen mit Amalgam belegten erhaben,

1) *Optice*, lib. II, pars 3. pag. 219.

2) Newton beschreibt diese Farben im vierten Theile des zweiten Buches der „Optik".

und auf beiden nach einem Krümmungshalbmesser von ungefähr 6 Fufs geschliffen war. Vor einem solchen Spiegel zeigten sich auf einem Stücke weifsen Papieres, in dem sich eine kleine Oeffnung befand, durch welche das Sonnenlicht in der Richtung der Achse einfiel, vier oder fünf koncentrische farbige Kreise, die Aehnlichkeit mit jenen hatten, die man im durchgelassenen Lichte bei dünnen Lamellen bemerkt. Wenn sich die Oeffnung des Papieres an der Stelle des Mittelpunktes, also in einer Entfernung von 6 Fufs vom Spiegel befand, so traten die Farben am lebhaftesten hervor, und folgten dann in fünf Reihen in dieser Ordnung auf einander:

1. Weifs, dunkelgrau, violett, blau, grünlich-gelb, gelb, roth;
2. Purpur, blau, grün, gelb, roth;
3. Grünlich-Purpur, grün, roth;
4. Bläulich-grün, roth;
5. Bläulich-grün, roth.

Die Durchmesser dieser Farbenringe bis zu der Stelle, wo sie am dunkelsten waren, hatten $1\frac{1}{16}$, $2\frac{1}{16}$, $2\frac{2}{3}$, $3\frac{3}{20}$ Zoll, und bis zu der Stelle, wo sie am hellsten waren, $1\frac{11}{16}$, $2\frac{3}{8}$, $2\frac{11}{12}$ und $3\frac{3}{8}$ Zoll. Da die Quadrate jener und dieser Zahlen die Reihe $\frac{1}{2}$, 1, $\frac{3}{2}$, 2 u. s. w. geben, so stehen also die Quadrate der Durchmesser dieser Ringe, bis zu den abwechselnd dunkelsten und hellsten Stellen gemessen, gerade so, wie bei den Farben dünner Lamellen, unter dem Gesetze der natürlichen Zahlenreihe.

Wurde statt des gläsernen Spiegels ein metallener genommen, so gelang es nicht, in welcher Entfernung auch das Papier gehalten werden mogte, jene Farbenringe wahrzunehmen. Sie entstehen also nicht durch eine einzige, sondern nur durch beide Flächen

eines gläsernen Spiegels, so wie sie auch von der Entfernung dieser letzteren abhängig sind. Denn nahm Newton einen anderen Spiegel, der zwar dieselben Krümmungshalbmesser, wie der vorige, dessen Dicke aber nicht $\frac{1}{4}$, sondern nur $\frac{5}{62}$ Zoll hatte: so fand er in einer Entfernung von sechs Fuſs vom Spiegel die Durchmesser der ersten drei Farbenreihen bis dahin, wo sie am hellsten waren, 3, $4\frac{1}{6}$ und $5\frac{1}{8}$ Zoll. Diese Zahlen, und die für die Durchmesser der hellsten Ringe bei dem anderen Spiegel gefundenen $1\frac{1}{16}$, $2\frac{8}{8}$, $2\frac{1}{12}$ verhalten sich aber, wie die Quadrat-Wurzel aus 31 zu der aus 10, d. h. umgekehrt, wie die Quadrat-Wurzeln aus der Dicke der Spiegel.

Monochromatisches Licht erhielt Newton dadurch, daſs er an die Oeffnung des Fensters ein Prisma stellte, und den Spiegel mit schwarzem Papiere bedeckte, in dem sich ein so kleiner Einschnitt befand, daſs immer nur eine Farbe bis zum Glase gelangen konnte. Die hellen Ringe auf dem vorgehaltenen weiſsen Papiere erschienen alsdann, so wie bei den dünnen Lamellen, immer nur in der Farbe, die auf den Spiegel gefallen war. Wurde er z. B. bloſs durch die rothe Farbe erleuchtet, so zeigte sich nur eine Abwechslung von rothen und dunkelen Ringen, und es befolgten die Quadrate der Durchmesser aller monochromatischen Ringe und ihrer dunkelen Zwischenräume auch hier das Gesetz der natürlichen Zahlenreihe, so wie auch hier die rothen am breitesten, und die violetten am schmalsten waren.

Dieser Uebereinstimmung wegen, die zwischen den Farben dünner und dickerer Lamellen Statt findet, hielt sich Newton für überzeugt, daſs auch die letzteren denselben Ursprung, wie die ersteren haben, und daſs dieser in den Anwandlungen der Stralen zu suchen sei.

Da die Erklärung aller hier erörterten Farben durch die Undulations-Theorie [1]) einer späteren Periode angehört, so will ich nur noch von den Einwürfen, die man gegen die Hypothese der Anwandlungen gemacht hat, eine kurze Nachricht geben.

Der Abbé Mazeas, Bibliothekar des Herzogs von Noailles, wurde zufällig darauf geleitet, dafs jene farbigen Ringe auch durch plan-parallele Lamellen entstehen können. Als er die eine Seite eines Objektivs auf einer Glasplatte ebener schleifen wollte, bemerkte er, dafs beide Gläser sich nicht immer mit gleicher Leichtigkeit über einander fortschieben liessen, sondern zuweilen einen merklichen Widerstand leisteten, und dafs alsdann da, wo dieser sich zeigte, rothe oder grüne Linien sichtbar waren. Er wurde hierdurch veranlafst, auch den Newtonschen Versuch zu wiederholen, indem er Prismen statt der Platten nahm, und er fand zwar die Folge der Farben im Wesentlichen mit der von Newton beobachteten übereinstimmend; als er aber die Prismen über eine Lichtflamme brachte, bemerkte er, dafs sich die Farben um

1) Im ersten Theile habe ich mich da, wo ich die von Huygens gegebene Erklärung des Reflexions- und Refraktionsgesetzes entwickelte (pag. 239. sqq.), des Ausdrucks „Vibrations-Hypothese" bedient, nicht allein wegen der unzureichenden Vorstellung, die Huygens noch von den Schwingungsgesetzen des Aethers hatte, sondern auch, weil damals, als ich es schrieb, die Erklärung aller Lichtwirkungen aus der Voraussetzung eines schwingenden Aethers überhaupt noch nicht über die letzten Zweifel erhoben war. Nachdem dies aber vor ein Paar Jahren durch Cauchy (*Mémoire sur la dispersion de la lumière. Prague*, 1836.) geschehen ist, würde es um so mehr unangemessen sein, ferner noch von einer Vibrations- oder Undulations-Hypothese reden zu wollen, da die entgegengesetzte Ansicht, nach welcher die Lichtstralen als ein materieller Ausflufs aus den leuchtenden Körpern angesehen werden, nicht mehr als eine gleichbegründete jener anderen zur Seite gestellt werden kann.

so mehr nach den Rändern der Gläser hinzogen, je mehr diese erwärmt wurden, bis sie endlich ganz unmerklich wurden. Erst beim Erkalten der Gläser wurden sie wieder sichtbar. Dasselbe beobachtete er hierauf auch jedesmal wieder, wenn er die Farben zwischen zwei ebenen Glasplatten hatte entstehen lassen, ja selbst, wenn sich zwischen solchen Gläsern nicht allein Luft, sondern auch eine jede andere flüssige und durchsichtige Substanz befand; die Farben aber, die zwischen einem plan- und doppelt-konvexen Glase hervorgebracht waren, blieben selbst auch bei der Erwärmung dieser Gläser sichtbar.[1]) Die Folgerung, die Mazeas hieraus ziehen wollte, dafs die Farben nicht nach Newton's Erklärung durch die geringe Dicke der Lamellen, sondern vielmehr durch eine Ursache, die durch die Wärme entfernt werde, entstehen, war indefs um so mehr voreilig, da sich dieselbe Erscheinung nicht bei einer jeden Form der Gläser wiederholt hatte, Musschenbroek[2]) sich auch bald hernach überzeugte, dafs Mazeas bei seinen Versuchen nicht mit der erforderlichen Vorsicht zu Werke gegangen sei. Denn als jener zwei plan-parallele Platten von gleicher Gröfse mit Alkohol gewaschen, sie abgerieben, und mit ihren Rändern auf einander gelegt hatte: so entstanden, wenn die obere Platte stark gegen die untere gedrückt, und gegen dieselbe gerieben wurde, allerdings jene rothen und grünen, regellos durch einander laufenden Linien, die Mazeas beobachtet hatte; sie verschwanden jedoch nicht bei der Erwärmung der Platten. Wurden diese aber an ihren

1) *Histoire de l'acad. de Berlin*, 1752. pag. 248.

2) *Introductio ad philosophiam naturalem. Lugd. Bat.* 1762. tom. II, pag. 733.

Ecken durch Schrauben zusammengepreſst, so bildeten sich um die zusammengedrückten Stellen herum die Newtonschen Ringe, die aber gleichfalls, wenn die Platten erwärmt wurden, nicht verschwanden, sondern sich vielmehr bei zunehmender Erwärmung immer mehr, und bis in die Mitte der Platten erweiterten.

Eben so bedeutungslos waren auch die von Du Tour gegen die Newtonsche Erklärung gemachten Einwürfe. Denn wenn er deshalb, weil die Farbenringe nicht verschwanden, sobald er die Gläser, zwischen denen sie sich zeigten, unter den Recipienten einer Luftpumpe gebracht hatte, die von Newton gegebene Erklärung für unzureichend hielt: [1]) so hatte er übersehen, daſs dieser nicht sowohl die Anwesenheit der Luft zum Entstehen der Farbenringe für nothwendig erachtet hatte, sondern vielmehr die Anwesenheit eines von den Gläsern verschiedenen Mittels von zunehmender Tiefe, des Umstandes nicht zu gedenken, daſs das Brechungsverhältniſs aus der verdünnten in die gewöhnliche Luft sehr wenig von der Einheit verschieden ist. [2])

Auch die von William Herschel [3]) erhobenen Bedenken waren nicht erheblich. Er hatte zwar, so wie früher schon der Herzog de Chaulnes, [4]) die von Newton angegebene Folge der Farben wiedergefunden, die Reflexions-Farben aber selbst dann

1) Priestley's Gesch. der Optik, pag. 379.

2) Th. I, pag. 194. ist dies Brechungsverhältniſs 1 : 0,999736 gefunden.

3) *Philos. Transact. for* 1807., 1809., 1810.

4) *Mém. de l'acad. des sciences*, 1755., pag. 163. Bei der Wiederholung der Newtonschen Versuche fand er zugleich, daſs die Farben der gläsernen Spiegel lebhafter werden, wenn man diese anhaucht, oder mit stark verdünnter Milch bestreicht, und diese antrocknen läſst.

entstehen sehen, wenn das Konvex-Glas auf einen metallenen Spiegel gelegt war, wo also an ein Durchgehen der Stralen nicht füglich gedacht werden konnte; auch hatte er sie zwar bemerkt, wenn zwei plan-parallele Gläser unter einem möglichst kleinen Winkel gegen einander geneigt, und an der Berührungsstelle an einander gedrückt, nicht aber, wenn sie ohne Druck blofs an einander gelegt waren. Wenn nun auch Herschel die Zweifel, die der erstere unter diesen Versuchen gegen die Newtonsche Erklärung erregen könnte, durch die Annahme einer Absorption der durchgelassenen und ohnedies wenig intensiven Stralen erklären zu können glaubt: so sieht er sich doch durch den anderen Versuch zu der Folgerung veranlafst, dafs zum Entstehen der Farben nicht allein eine dünne Lamelle, sondern auch eine Krümmung derselben an der Berührungsstelle der Gläser erforderlich zu sein scheine. Man konnte indefs dagegen einwenden, dafs die ebenen Gläser, ohne an einander gedrückt zu werden, sich nicht innig genug berühren, um eine so dünne Lamelle zu bilden, wie sie zum Entstehen der Farben nothwendig ist.

Selbst noch im Anfange dieses Jahrhunderts war man daher geneigt, die Anwandlungen für ein Naturgesetz zu halten, bis es erst unserer Zeit gelungen ist, diese Eigenschaft, die Newton den homogenen Stralen beigelegt hatte, für eine überflüssige erklären, und alle hier erörterten Farbenerscheinungen blofs aus der Art und Weise, wie der schwingende Aether beim Uebergange aus einem dünneren in ein dichteres Mittel, oder aus diesem in jenes modificirt wird, ableiten zu können. Wer aber mögte es Newton'n zum Vorwurfe machen wollen, dafs er nicht sogleich die letzten Gründe seiner Entdeckung anzugeben vermogte?

Genug, dafs er mit bewunderungswürdiger Ausdauer jene überaus mühsamen Messungen vollzog, und dadurch einen wesentlichen Beitrag zur Förderung der Undulations-Theorie lieferte; genug, dafs man ihn hier eigentlich nicht eines Irrthums anklagen kann, da die schwingende Bewegung des Aethers in einer dünneren, oder dichteren Lamelle in der That so erfolgt, als käme den homogenen Stralen die Eigenschaft der Anwandlungen zu.

Erklärung der natürlichen Farben der Körper aus den Anwandlungen.

Newton unterzog sich der Mühe, alle jene, die Farben der Lamellen betreffenden Messungen zu vollführen, ganz besonders in der Absicht, um über die Ursache der natürlichen Farben der Körper einen näheren Aufschlufs zu erhalten.[1]) Wie glücklich er diesen Zweck erreichte, geht daraus hervor, dafs man wenigstens bis auf den heutigen Tag nicht im Stande gewesen ist, eine befriedigendere Erklärung jener Farben zu geben.

Für die Ursache der Durchsichtigkeit mancher Körper hält Newton eine überall gleichmäfsige Dichtigkeit derselben, weil die Erfahrung lehre, dafs ein jeder Uebergang des Lichtes aus einem Mittel in ein anderes mit einer Zurückwerfung desselben verbunden, und dafs die Menge des zurückgeworfenen Lichtes um so gröfser ist, je mehr beide Mittel in ihrer Brechungskraft verschieden sind, dafs aber an der Grenze zweier, das Licht völlig gleich brechenden Mittel keine Reflexion Statt findet. So sei das Glas durchsichtig,

1) Newton handelt von diesen Farben im dritten Theile des zweiten Buches der „Optik“.

weil es in seinem Innern keine leeren Zwischenräume hat, an denen die Stralen reflektirt werden könnten. Das Papier dagegen sei undurchsichtig, weil es viele mit Luft erfüllte Zwischenräume hat, durch welche wiederholte Zurückwerfungen des Lichtes entstehen. Es werde aber durchsichtig, sobald man diese Zwischenräume mit einem Mittel, welches ungefähr dieselbe Dichtigkeit, wie das Papier hat, z. B. mit Oel erfüllt.

Was die permanenten Farben der natürlichen Körper betrifft, so sieht Newton sie dadurch erklärt, dafs die Farben dünner Lamellen von der Dicke und Brechungskraft dieser letzteren abhängen, dafs folglich die an der Oberfläche befindlichen Lamellen der Körper, die eine permanente Farbe zeigen, eine solche Dicke und Brechungskraft haben, um nur jene bestimmte Art homogener Stralen reflektiren, und die nicht reflektirten in das Innere der Körper, wo sie absorbirt werden, durchlassen zu können. Die Annahme aber, dafs alle Körper an ihrer Oberfläche aus durchsichtigen Lamellen bestehen, hält Newton deshalb für zulässig, weil selbst die dichtesten und daher undurchsichtigsten Körper, wie z. B. Gold, durchsichtig werden, sobald sie in dünne Blättchen ausgedehnt sind.

Dafs die nicht reflektirten, und im weifsen Lichte enthaltenen Stralen durchgelassen, und im Inneren der Körper absorbirt werden, beweist Newton durch mehrere Beispiele. Dünne Goldblättchen zeigen sich in reflektirtem Lichte röthlich oder gelb, im durchgelassenen aber bläulich-grün. Das Gold werfe also nur die rothen oder gelben Stralen zurück, nehme dagegen die grünen und blauen in sich auf, und lasse sie, wenn es dünn genug ist, durch sich hindurchgehen; ist es aber dicker und deshalb undurchsichtig, so reflek-

tire es auch diese Stralen so lange in seinem Inneren, bis es sie vernichtet und absorbirt hat. Die Verschiedenheit der Farbe, welche einige Flüssigkeiten bei verschiedener Tiefe zeigen, habe eben hierin ihren Grund. Eine dunkelrothe Flüssigkeit z. B. in einem konischen Gefäſse erscheint unten, wo sie am dünnsten ist, blaſsgelb; ein wenig höher, wo sie dicker ist, orangefarben; noch höher roth und dunkelroth. Die violetten und blauen Stralen werden nämlich von einer solchen Flüssigkeit am leichtesten absorbirt, schwerer schon die grünen, und noch schwerer die rothen. Ist daher ihre Tiefe so gering, daſs sie zwar die violetten und blauen Stralen in hinreichender Menge, von den übrigen aber nicht viel in sich aufnehmen kann, so müsse sie in einer Farbe erscheinen, in welcher Gelb vorherrscht, und es sei offenbar, wie sich die anderen Farben, welche die Flüssigkeit bei zunehmender Dicke zeigt, in eben dieser Weise erklären lassen.

Auch das Meerwasser, in welchem die durchgelassenen Stralen, nach einer von Halley gemachten Erfahrung, noch in bedeutenden Tiefen wirksam bleiben, [1]) könne als Beispiel dienen. Als dieser sich an einem sonnenhellen Tage ins Meer hinabgelassen hatte, bemerkte er, daſs der obere Theil seiner Hand, der durch ein in der Taucherglocke befindliches Fenster von direktem Tageslichte erleuchtet wurde, hellroth, daſs aber das Wasser unter ihm, und der untere Theil der Hand grün erschien. Das Meerwasser werfe also, wie dies auch seine Farbe zeigt, an der Oberfläche besonders grünes Licht zurück, und lasse vornehmlich die rothen Stralen, von den übrigen aber zugleich so

1) *Optice*, lib. I, pars 2. exper. 17. pag. 132.

viele hindurch, dafs es selbst in bedeutenden Tiefen noch grünes Licht[1]) reflektiren kann.

Mit Hilfe der oben (pag. 97.) berechneten Tabelle würde man aus der Farbe eines Körpers auch umgekehrt die Dicke seiner Lamellen ableiten können.[2]) Es käme hierbei nur darauf an, zu ermitteln, mit welcher Farbe in den sieben Reihen jener Tabelle die des Körpers am meisten übereinstimmt. Aendere sich nach und nach die Farbe eines und desselben Körpers, so würde man dies aus einer veränderten Dicke seiner Lamellen zu erklären haben. Wird z. B. das Blatt eines Baumes, dessen Grün der dritten Farbenreihe angehört, beim Welken nach und nach gelb und roth, so müssen seine Lamellen dicker geworden sein, weil die Farben Gelb und Roth in aufsteigender Ordnung in der dritten Farbenreihe auf das Grün folgen.

Dies sind die erheblichsten Gründe, die Newton für seine Erklärung der permanenten Farben anführt, und die man auch, unterstützt von den mannigfaltigen Mitteln, welche die Chemie gegenwärtig zu ihrer Prüfung darbietet, bewährt gefunden hat. Reibt man z. B. den Docht einer Weingeistkerze mit Kochsalz ein, wodurch die Flamme gelb wird, und bringt man in dieses gelbe Licht einen Gegenstand, der bei der Tageshelle in lebhaften Farben glänzt: so verschwinden diese entweder gänzlich, oder sie ändern sich wenigstens so, dafs tiefere oder hellere Nuancen von Gelb entstehen. Ein Beweis also, dafs, wenn das Sonnenlicht nicht alle Farben enthielte, sondern nur einfarbig

1) Es ist dies Grün die sogenannte komplementäre Farbe des Roth, von deren Entstehen in der Folge die Rede sein wird.

2) *Optice*, lib. II, pars 3. prop. 7. pag. 195.

wäre, der Wechsel der natürlichen Farben aufhören, und die Oberfläche der Körper entweder nur diese eine Farbe zeigen, oder dunkel sein würde, je nachdem sie geeigneter wäre, jenes monochromatische Licht zu reflektiren, oder durchzulassen. Da man gegenwärtig mit leichter Mühe im Stande ist, durch Einreiben der Dochte mit verschiedenen Salzen verschiedene monochromatische Flammen zu erhalten, so kann man dergleichen Versuche in mannigfaltiger Weise abändern. So geben Sodasalze ein reines Gelb, Pottaschensalze ein blasses Violett, Kalksalze geben Ziegelroth, Strontiansalze Karmoisin, Lithionsalze Roth, Barytsalze ein blasses Grün, Kupfersalze ein intensives Grün, und schwefelsaure Eisensalze ein reines Weifs.

Ueber die verschiedenen Farben der durchsichtigen Mittel, wenn ihre Tiefen verschieden sind, hat in neuerer Zeit besonders John Herschel lehrreiche Beobachtungen angestellt.[1]) In Folge der schon von Newton erörterten Erfahrungen, und namentlich auch der Entdeckung Brewster's, dafs gewisse Theile des Spektrums durch ein blaues Smalte-Glas leichter, als andere absorbirt werden, nimmt Herschel an, dafs man einer jeden homogenen Farbe, so wie sie ein verschiedenes Brechungsverhältnifs hat, auch ein verschiedenes Durchsichtigkeitsverhältnifs beilegen müsse, wenn man darunter das Verhältnifs der Menge 1 der einfallenden homogenen Stralen zur Menge p derjenigen von derselben Gattung versteht, welche die Einheit ihres Weges in dem Mittel, das von ihnen durchdrungen wird, zurückgelegt haben, und nicht absorbirt sind. Da man nun auch berechtigt ist,

1) In dem Werke „Vom Lichte", übersetzt von Schmidt. Stuttgard, 1831. pag. 242. sqq.

anzunehmen, dafs die Menge des absorbirten Lichtes in geometrischer Progression zunimmt, [1]) wenn die Tiefe des absorbirenden Mittels in arithmetischer wächst, so würde man in dieser Weise, wenn die verhältnifsmäfsige Menge einer jeden Art von homogenen Stralen, die zusammen das weifse Sonnenlicht geben, und das Durchsichtigkeitsverhältnifs derselben bekannt wären, einen Ausdruck für die Menge des nicht absorbirten Lichtes erhalten, wenn es den Weg s in dem absorbirenden Mittel zurückgelegt hat. Bezeichnet man z. B. das Durchsichtigkeitsverhältnifs der verschiedenen prismatischen Farben mit p, p', p'' u. s. w., die verhältnifsmäfsige Menge der im weifsen Lichte zu einer jeden Farbe gehörigen Stralen mit q, q', q'' u. s. w., und die Menge des während des Weges s nicht absorbirten Lichtes mit Q, so hätte man also:

$$Q = qp^s + q'p'^s + q''p''^s \ldots\ldots$$

Man sieht hieraus unter anderen, warum das einfallende weifse Sonnenlicht zwar beim Durchgange durch ein farbiges Mittel von sehr geringer Dicke ungeändert bleiben, beim Durchgange durch gröfsere Tiefen desselben aber mannigfach modificirt werden mufs. Denn es ist in diesem Falle der Weg s des durchgehenden Lichtes unendlich klein, folglich

$$p^s = p'^s = p''^s \ldots\ldots = 1, \text{ und daher}$$

$$Q = q + q' + q'' \ldots\ldots,$$

d. h. es besteht das durchgegangene und nicht absorbirte Licht aus derselben verhältnifsmäfsigen Menge homogener Stralen, wie das einfallende. Deshalb zeigt sich z. B. der Schaum aller Flüssigkeiten, so verschie-

1) In der Bouguerschen Photometrie wird dieser Satz ausführlicher erörtert werden.

den auch ihre Farbe bei gröfseren Tiefen sein mag, jedesmal weifs.

Zu den Flüssigkeiten, die bei verschiedenen Tiefen das durchgehende Licht verschieden färben, gehört unter anderen eine Auflösung von salzsaurem Chrom. Betrachtet man einen weifsen Gegenstand durch eine dünne Schicht dieser Auflösung, so erscheint er in grüner Farbe; wird aber die Tiefe der Flüssigkeit gröfser, so geht diese Farbe durchs Dunkelgelbe ins Tiefrothe über. Nimmt man nun mit Herschel an, dafs in einem Bündel von 10000 Stralen, die alle gleich stark leuchten, und zusammen Weifs geben (indem es offenbar gleichgiltig ist, ob man sagt, dafs die dunklere Hälfte des Spektrums, zu der Blau, Indigo und Violett gehören, eben so viele, aber weniger leuchtende Stralen, als die hellere enthält, oder ob man voraussetzt, dafs alle Stralen gleich stark leuchten, dafs aber die dunklere Hälfte deren weniger, als die hellere hat), enthalten sind:

$200 = q$ Stralen des äufsersten Roth,
$1300 = q'$ mittlere rothe und orangefarbene Stralen,
$3000 = q''$ gelbe Stralen,
$2800 = q'''$ grüne Stralen,
$1200 = q^{IV}$ blaue Stralen,
$1000 = q^{V}$ indigofarbene Stralen,
$500 = q^{VI}$ violette Stralen,

und dafs bei jener Auflösung das Durchsichtigkeitsverhältnifs $p = 0{,}9$ für die äufsersten rothen Stralen, $p' = p'' = 0{,}1$ für Roth und Orange, und für Gelb, $p''' = 0{,}5$ für Grün, $p^{IV} = p^{V} = p^{VI} = 0{,}1$ für Blau, Indigo und Violett sei: so ist, nachdem diese Stralen durch eine sehr dünne Schicht, die zur Einheit ihres Weges genommen werde, gegangen sind, die von dem äufsersten Roth übriggebliebene und nicht absorbirte

Menge $= q . p = 180$, die von Roth und Orange übriggebliebene $= q'p' = 130$ u. s. w. Haben aber die Stralen die doppelte Einheit ihres Weges zurückgelegt, so ist die von dem äufsersten Roth noch vorhandene Menge $= q . p^2 = 162$, die von Roth und Orange vorhandene $= q'p'^2 = 13$ u. s. w., und man erhält, wenn man diese Rechnungen weiter fortsetzt, und die Kolumnen der Zahlen, welche zur einfachen, doppelten u. s. w. Einheit des Weges gehören, mit I., II. u. s. w. bezeichnet, folgende Tabelle:

Farben.	I.	II.	III.	IV.	V.	VI.
Aeufserstes Roth...	180	162	146	131	118	106
Mittleres Roth und Orange..........	130	13	1	0	0	0
Gelb..............	300	30	3	0	0	0
Grün..............	1400	700	350	175	87	43
Blau..............	120	12	1	0	0	0
Indigo.............	100	10	1	0	0	0
Violett............	50	5	0	0	0	0

aus welcher hervorgeht, dafs in den vier ersten Kolumnen die grünen Stralen, in der fünften und sechsten dagegen die rothen vorherrschen, und dafs diese letzteren auch für eine noch gröfsere Tiefe jenes Mittels vorherrschend bleiben.

Solche Mittel, die zwei von ihrer Dicke abhängige Farben-Maxima zeigen, wie das salzsaure Chrom, nennt Herschel dichromatische. Unter den grünen Mitteln rechnet er hierzu noch eine Auflösung von Saftgrün, mangansaure Pottasche, einen alkalischen Aufgufs der Blumenblätter der *Paeonia officinalis*, und vieler anderen rothen Blumen. Bei rothen Mitteln tre-

ten, wie **Herschel** fand, zwei Farben-Maxima nicht mit der Bestimmtheit hervor, wie bei den gelben und orangefarbenen, die in gröfserer Tiefe roth erscheinen. Dahin gehört unter anderen: Gelbes Glas, Portwein u. a. m. Auch die purpurnen Mittel, wie saure und alkalische Kobalt-Auflösungen, sind immer dichromatisch, und ihre Farben-Maxima roth und violett. Die blauen Mittel gehören wenigstens gröfstentheils zu den dichromatischen. So läfst der oxalsaure Ammoniak-Nickel die blauen und äufsersten rothen Stralen durch, und absorbirt die übrigen.

Die Optik ist bis jetzt in keinem ihrer Gebiete weniger, als in dem der Absorptions-Erscheinungen gefördert worden. Eine befriedigendere Nachweisung der Ursachen, welche der natürlichen Farbe eines jeden Körpers zum Grunde liegen, läfst sich daher erst von der Zukunft erwarten. Die ausführlichsten und gründlichsten Untersuchungen über die Gesetze, nach denen das Licht an den Oberflächen der Körper reflektirt und durchgelassen wird, sind immer noch die von **Bouguer** und **Lambert** angestellten, auf welche ich nachher in besonderen Abhandlungen zurückkommen werde.

Von der Beugung des Lichtes.

Das letzte Buch der „Optik", das dritte, enthält die Beobachtungen **Newton's** über die von **Grimaldi** gemachte, und von **Hooke** bestätigte Entdeckung, dafs der Schatten dünner undurchsichtiger Körper, welche in das, durch eine kleine Oeffnung einfallende Licht gehalten werden, gröfser ist, als er es nach der geradlinigen Bewegung des Lichtes sein sollte, und dafs dieser Schatten auf beiden Seiten mit drei Farbenstreifen umgeben ist.

In eine bleierne Platte machte Newton mit einer Nadel eine Oeffnung, deren Durchmesser $\frac{1}{42}$ Zoll hatte; denn 21 solcher Nadeln, an einander gelegt, bedeckten einen halben Zoll. Durch diese Oeffnung liefs er das Sonnenlicht in ein dunkeles Zimmer fallen, und fand eben so, wie Grimaldi, dafs der Schatten von Haaren und anderen dünnen Körpern, wenn sie in jenes Licht gebracht wurden, viel breiter war, als er hätte sein können, wenn die Stralen an den Grenzen jener Körper in geraden Linien vorbeigegangen wären, und dafs namentlich ein Menschenhaar, dessen Breite nur $\frac{1}{280}$ Zoll beträgt, in einer Entfernung von 12 Fufs von der Oeffnung einen Schatten warf, der in einem Abstande von 4 Zoll von dem Haare eine Breite von $\frac{1}{60}$ Zoll hatte, also mehr, als 4mal so breit, als das Haar war; in einer Entfernung von 2 Fufs aber $\frac{1}{28}$ Zoll, und in einem Abstande von 10 Fufs $\frac{1}{8}$ Zoll hatte, also 35mal breiter war, als das Haar selbst. Die Breite des Schattens war daher nicht seiner Entfernung von dem schattenden Körper proportional, indem er sonst z. B. in der Entfernung von 2 Fufs nicht $\frac{1}{28}$, sondern $\frac{1}{10}$ Zoll hätte haben müssen; es pafsten jene Zahlen vielmehr zu der Annahme einer auf beiden Seiten hyperbolischen Begrenzung des Schattens.[1])

Die drei farbigen, diesen Schatten auf beiden Seiten umgebenden, und demselben parallelen Streifen waren auf der, dem schattenden Körper zugekehrten Seite blau, auf der anderen roth, und es traten die übrigen Farben in dem ersten Streifen, der breiter war, als die anderen, nur dann deutlicher hervor, wenn das den Schatten auffangende Papier sehr glatt und weifs war, und in schiefer Richtung gegen die einfallenden

1) *Optice*, lib. III, observ. 10. pag. 265.

Stralen gehalten wurde. Der erste Farbenstreifen fing an, bemerkbar zu werden, wenn das Papier um etwa $\frac{1}{4}$ Zoll von dem Haare entfernt war. In einem Abstande von $\frac{1}{3}$ Zoll erschien der erste dunkele Streifen zwischen dem ersten und zweiten farbigen, dieser in einer Entfernung von $\frac{1}{2}$ Zoll; der hierauf folgende dunkele, wenn das Papier 1 Zoll, und der dritte farbige Streifen, wenn es 3 Zoll von dem Haare abstand. In gröſseren Entfernungen wurden die Streifen nicht nur deutlicher, sondern es behielten ihre Breiten auch dasselbe Verhältniſs bei, das sie gleich anfänglich gehabt hatten. Die Breite des ersten farbigen Streifens verhielt sich aber zu der des hierauf folgenden dunkelen, des zweiten farbigen, des zweiten dunkelen und des dritten farbigen Streifens, wie $1 : (\frac{1}{2})^{\frac{1}{2}} : (\frac{1}{3})^{\frac{1}{2}} : (\frac{1}{4})^{\frac{1}{2}} : (\frac{1}{5})^{\frac{1}{2}}$.

Nachdem Newton den Grimaldischen Versuch in dieser Weise ergänzt hatte, fügte er demselben noch andere hinzu. In das Sonnenlicht, das durch eine Oeffnung, die $\frac{1}{4}$ Zoll breit war, in ein verfinstertes Zimmer fiel, wurde in einer Entfernung von 2 Fuſs von dem Fenster eine Scheibe gebracht, in deren Mitte sich eine quadratische Oeffnung, $\frac{3}{4}$ Zoll in jeder Seite, befand, an welche die Schärfe eines Messers, parallel mit zwei Gegenseiten des Quadrates befestigt war. Wurde die Scheibe so gehalten, daſs die Stralen durch die Oeffnung winkelrecht auf die Schärfe des Messers fielen: so zeigten sich zwar, in einem Abstande von 2 oder 3 Fuſs hinter der Scheibe, auf einem weiſsen Papiere zwei matte Lichtbüschel,[1]) die sich auf bei-

1) *Optice*, lib. III, observ. 5. pag. 258. *Duae luminis languidioris radiationes, utroque versus e luminis radio in umbram, tanquam caudae cometarum, se emittentes.*

den Seiten, wie Kometenschweife, aus dem direkten Lichte in den Schatten erstreckten, die Farbenstreifen wurden jedoch wegen der zu grofsen Oeffnung in der Scheibe nicht sichtbar. Wurden aber zwei Messer genommen, und ihre parallelen Schärfen näher an einander gebracht, so waren nicht nur jene Lichtbüschel, sondern auch die Farbenstreifen zu beiden Seiten des direkten Lichtes bemerkbar, drei oben, durch die Schärfe des einen Messers, und drei unten durch die des anderen. Diese Streifen traten um so deutlicher hervor, so dafs selbst eine schwache Spur eines vierten erkannt werden konnte, je kleiner die Oeffnung im Fenster war, je weiter die Messer von derselben entfernt, und je näher an einander ihre Schärfen gebracht wurden, bis sie endlich bei immer mehr zunehmender Annäherung der letzteren verschwanden. Zuerst aber wurde der äufsere Streifen, hierauf der mittlere, und zuletzt der innere unsichtbar. War dies geschehen, so zeigte sich in der Mitte des den Schärfen gegenüber liegenden breiten Lichtstreifens eine dunkele Linie, die immer breiter wurde, je mehr sich die Messer näherten, bis endlich alles Licht auf dem Papiere verschwand.

Als Newton vor die Oeffnung der oben erwähnten Bleiplatte ein Prisma brachte, fand er, dafs die Streifen, von denen der Schatten des Haares umgeben war, immer nur die Farbe hatten, die gerade auf das Haar fiel; im rothen Lichte waren sie nur roth, im blauen nur blau mit dunkelen Zwischenräumen. Auch waren die rothen Streifen gerade so, wie bei den Ringen der Lamellen, unter allen die breitesten, die violetten die schmalsten, und die grünen von einer mittleren Breite. Denn die Entfernung zwischen den Mitten der ersten Streifen zu beiden Seiten des Schattens,

den das Haar in einer Entfernung von 6 Zoll warf, betrug im rothen Lichte $\frac{1}{37}$ Zoll, im violetten aber nur $\frac{1}{46}$ Zoll. Eben so war die Entfernung zwischen den Mitten der zweiten Streifen zu beiden Seiten des Schattens im rothen Lichte $\frac{1}{22}$, im violetten aber nur $\frac{1}{27}$ Zoll. Da also die violetten Streifen der Mitte des Schattens näher liegen, als die blauen, grünen u. s. w., so müssen die durch das Sonnenlicht, das Stralen aller Gattungen enthält, entstehenden Streifen an ihrer inneren Seite violett, und an ihrer äufseren roth sein, wie dies den oben angeführten Beobachtungen gemäfs ist.[1])

So hatte nun also Newton die Wahrheit seiner Entdeckung der verschiedenen Brechbarkeit des Sonnenlichtes durch alle Farbenerscheinungen bestätigt gefunden, nicht allein durch die farbigen Säume der durch Prismen oder Linsen entstehenden Bilder, und durch die Farben des Regenbogens, sondern auch durch die vielfarbigen Ringe der Lamellen, durch die natürlichen Farben der Körper, und durch die vielfarbigen Beugungsstreifen.

Der Uebereinstimmung wegen, die sich zwischen den Farben der Lamellen und denen der Beugungsstreifen zeigt, zweifelte Newton nicht, dafs auch diese letzteren in den Anwandlungen der Stralen begründet sind, und glaubte überhaupt die Beugungserscheinungen aus einer abstofsenden Kraft, die von der Grenze des schattenden Körpers ausgeht, herleiten zu müssen. Gewifs würde er aber an die Hypothese einer abstossenden Kraft nicht gedacht haben, wenn ihm die bald nachher gemachte Entdeckung, dafs die Stralen auch einwärts gebeugt werden können, bekannt gewesen,

1) *Optice*, lib. III, observ. 11. pag. 267.

oder wenn es ihm nicht entgangen wäre, daſs die Farbenstreifen sich verengern, wenn man die Lichtquelle von dem schattenden Körper entfernt, und sich erweitern, wenn man sie demselben nähert. Denn wie soll die abstoſsende Kraft dieses Körpers davon, ob ihm die Lichtquelle um einige Fuſs mehr oder weniger genähert wird, abhängig sein können? Es ist deshalb einer der hervorragenden Gründe für den Vorzug, den man jetzt überall der Undulations-Theorie giebt, daſs sie nicht bloſs über die hyperbolische Gestalt des Schattens und der Streifen, sondern auch darüber, daſs sich die rothe Farbe bei allen Beugungserscheinungen auswärts zeigt, und über die Erweiterung der Farbenstreifen, wenn die Lichtquelle dem schattenden Körper genähert wird, so wie endlich auch über das einwärts gebeugte Licht eine befriedigende Auskunft giebt. Dennoch bleibt Newton'n auch in diesem Gebiete der Optik das groſse Verdienst, die Breite des Schattens und der Streifen in dem Grimaldischen Versuche zuerst gemessen, auf die hyperbolische Gestalt derselben aufmerksam gemacht, und die Folge der Farben bei der Anwendung heterogenen Lichtes erklärt zu haben.

Die Entdeckung, daſs die Stralen auch einwärts in den Schatten des opaken Körpers, wenn er anders eine geringe Dicke hat, gebeugt werden können, wurde von Maraldi gemacht. [1]) Als er den Schatten eines hölzernen, ins freie Sonnenlicht gebrachten Cylinders, der 3 Fuſs lang und 6½ Linien dick war, in verschiedenen Entfernungen auffing, fand er denselben nur bis zu einem Abstande von ungefähr 2 Fuſs gleichmäſsig dunkel, jenseits dieser Grenze aber in der Mitte merk-

1) *Hist. de l'acad. des sciences.* 1723. pag. 90.

lich heller, und nur an den Rändern durch sehr schmale tiefdunkele Streifen begrenzt. Da nicht nur der Schatten anderer dünnen Körper von cylindrischer Gestalt, sondern auch der kleiner Kugeln, die ins freie Sonnenlicht gebracht wurden, in einer gewissen Entfernung heller zu werden anfing: so war es hierdurch also erwiesen, dafs die, nahe an dünnen Körpern vorbeigehenden Stralen nicht blofs abwärts, sondern auch einwärts gebeugt werden. Maraldi überzeugte sich durch wiederholte Versuche, dafs cylindrische Körper der Art nur in einer Entfernung, die ungefähr 41mal, und kleine Kugeln in einem Abstande, der etwa 15mal gröfser ist, als ihre Dicke, einen gleichmäfsig dunkelen Schatten geben, dafs dieser aber jenseits jener Grenze heller zu werden anfange. Noch auffallender zeigte sich diese Art der Beugung in einem finstern Zimmer, wo in der Mitte des Schattens kleiner Kugeln ein heller Kreis bemerkbar wurde, auf welchen abwechselnd dunkele und helle Ringe folgten.

Dies sind die ersten genaueren Versuche über die Beugungserscheinungen, die man in neuerer Zeit aufs mannigfaltigste abgeändert, und unter denen man auch nicht eine beobachtet hat, die nicht in der Undulations-Theorie ihre Erklärung fände.

Einige Aeufserungen Newton's über die Undulations-Theorie.

Die von Descartes, Grimaldi, Hooke und Huygens vertheidigte Hypothese über die Fortpflanzung des Lichtes kennen wir schon aus dem ersten Theile, und haben dort gesehen, wie der letztere bei den Beweisen, die er für die Nothwendigkeit des Reflexions- und Refraktions-Gesetzes führt, keine Ahnung davon hatte, dafs die Wirkung zweier zusammentreffen-

den Lichtbündel sich aufheben könne, die Ringe der Lamellen und die Beugungsfarben daher auch unerklärt lassen mufste, ungeachtet Grimaldi freilich schon in seiner im Jahre 1665. erschienenen *Physico-Mathesis* auf das Princip der Interferenz hingedeutet hatte.[1])

1) Prop. 22. pag. 187. Die Proposition lautet so: „*Lumen aliquando per sui communicationem reddit obscuriorem superficiem corporis aliunde, ac prius illustratam.*" Diese überaus wichtige Entdeckung, die als der Hauptschlüssel zur Erklärung der Lichterscheinungen zu betrachten ist, und dennoch nicht blofs von Huygens, sondern sogar bis zum Anfange dieses Jahrhunderts unbeachtet blieb, leitet Grimaldi mit den bescheidenen Worten ein: „*Haec propositio paradoxum est, et ex terminis ipsis magnam prae se fert improbabilitatem, quia luminis est illustrare, non autem obscurare superficiem corporis opaci, ad quam terminatur, et cui aliquo tandem modo se communicat. Ejus tamen probatio certissima est, ac evidenter manifesta ex aliquo experimento valde obvio, sed hactenus a nemine, quod sciam, considerato.*" Er hatte nämlich die Sonnenstralen durch zwei kleine Oeffnungen in ein dunkeles Zimmer so geleitet, dafs die Grundflächen der Lichtkegel, in ziemlich grofser Entfernung von einer weifsen Ebene unter rechten Winkeln aufgefangen, zum Theil in einander fielen, und das beiden Grundflächen gemeinsame Segment zwar heller, als den übrigen Theil derselben, die Grenze dieses Segmentes aber dunkeler, als solche Stellen gefunden, die eben so weit von den Mittelpunkten beider Grundflächen abstanden. Da dies nicht geschah, wenn eine Oeffnung geschlossen wurde, sondern sich vielmehr alle Stellen, die in gleicher Entfernung vom Mittelpunkte der Grundfläche des Lichtkegels lagen, gleich stark erleuchtet zeigten: so schlofs Grimaldi hieraus, dafs die Wirkung zweier zusammentreffenden Lichtbündel sich zuweilen vernichten, und Dunkelheit zur Folge haben könne. Als die Ursache dieser auf den ersten Blick unbegreiflichen Erscheinung sieht er die gleichfalls von ihm entdeckte Diffraktion des Lichtes an. *Segmentum inter illas bases commune lucidius est, quam reliquae partes non communicantes, sed in sui extremo obscurius est, quam reliquae partes in basi, aeque cum illo distantes a centro. Ergo aliquid magis illustratum remanet tamen obscurius. Est ob luminis diffracti agitationem, valentem repraesentare aliquid positive obscurum.*

In dieser Unzulänglichkeit der von Huygens vertretenen Hypothese mogte denn auch der Grund liegen, aus welchem Newton ihr nicht die Aufmerksamkeit widmete, die sie verdiente, sondern sich lieber zu der hergebrachten Ansicht hinneigte, nach der man das Licht für einen materiellen Ausfluſs aus den leuchtenden Körpern hielt. Daſs er jedoch jener Hypothese mehr anhing, als man gewöhnlich glaubt, daſs er nur zweifelhaft war, welche Ansicht die wahre sein mögte: dafür mögen einige, über diesen Gegenstand von ihm gemachte Aeuſserungen zeugen.

„Wenn man in zwei weiten und hohen gläsernen Cylindern zwei Thermometer so aufhängt, daſs sie das Glas nicht berühren, aus einem dieser Gläser die Luft auspumpt, und beide hierauf aus einem kalten Orte nach einem warmen bringt: so wird das Thermometer, welches sich im luftverdünnten Raume befindet, nicht später und um nichts weniger warm, als das andere. Wird also nicht die äuſsere Wärme durch den luftverdünnten Raum durch Schwingungen eines bei weitem feineren Mittels, als es die Luft ist, fortgepflanzt? Ist dies nicht eben das Mittel, durch dessen Schwingungen das Licht zurückgeworfen und gebrochen, und in jene Anwandlungen der leichteren Transmission oder Reflexion versetzt wird? Durchdringt dies Mittel nicht leicht alle Körper, und ist es nicht mittelst seiner elastischen Kraft durch das ganze Universum verbreitet?“ [1])

„Bewegen sich nicht alle Weltkörper viel freier in diesem ätherischen Mittel, als in irgend einer anderen Flüssigkeit? Und wird der Widerstand dieses Mittels nicht so unbedeutend sein, daſs man ihn für

1) *Optice*, lib. III, quaestio 18.

verschwindend halten kann?.... Sollte jemand fragen, wie es möglich sei, dafs ein Mittel so dünn vorausgesetzt werden könne: so möge mir ein solcher nachweisen, wie unsere Luft in den obersten Regionen über hundertmillionenmal dünner, als Gold sein könne.“ [1])

„Haben nicht die Stralen verschiedener Gattungen verschiedene Intervalle, und erregen sie eben dadurch nicht die Empfindung verschiedener Farben auf ähnliche Weise, wie die Schwingungen der Luft nach ihrer verschiedenen Stärke die Empfindung verschiedener Töne hervorbringen?“ [2])

„Wäre eine Hypothese anzunehmen, so müfste sie so beschaffen sein, dafs sie nicht sowohl bestimmt, was das Licht sei, als vielmehr, dafs es etwas sei, das in dem Aether Schwingungen erregen kann. Denn so wird sie allgemein, und umfafst die anderen Hypothesen, so wie sie auch wenig Raum für die Erfindung einer neuen übrigläfst.“ [3])

Rechnet man hierzu eine Stelle in einer an Hooke gerichteten Antwort Newton's, welche anzuführen ich sogleich Gelegenheit haben werde: so ist klar, dafs dieser der Annahme eines Aethers, der durch leuchtende Körper in eine schwingende Bewegung versetzt werden könne, nichts weniger, als entschieden abhold gewesen sei.

Die Gegner der Newtonschen Farbenlehre bis zum Ende des achtzehnten Jahrhunderts.

Schon in der Lebensbeschreibung Newton's habe ich es angedeutet, dafs keine seiner Entdeckungen so

1) *Optice*, lib. III, quaest. 22.
2) *Ibid.*, quaest. 13.
3) *The History of the Roy. Soc. by Birch.* Vol. III, pag. 249.

viele Widersprüche erfahren hat, wie die der verschiedenen Brechbarkeit des Sonnenlichtes. Wären diese Widersprüche blofs von seinen Zeitgenossen ausgegangen, so würde man hierin nur den gewöhnlichen Entwickelungsgang empirischer Wissenschaften wiedererkennen, indem eine jede, die ganze Wissenschaft umgestaltende Entdeckung anfänglich mit Recht so lange bezweifelt zu werden pflegt, bis man ihre Wahrheit nach allen Richtungen hin bewährt gefunden hat. Dafs man diese Einwürfe nun aber schon zwei Jahrhunderte hindurch wiederholt hat, und zwar aus keinem anderen Grunde, als aus Unkenntnifs der Mathematik: hierfür kennt die Geschichte der Wissenschaften nur noch ein Beispiel, — die immer noch wiederkehrenden Einwürfe gegen die Gravitations-Theorie Newton's.

Der erste, der gegen Newton auftrat, war der Jesuit Pardies, Professor der Mathematik in Clermont. Man könne, behauptete er, die längliche Gestalt des Spektrums auch sehr wohl aus der verschiedenen Incidenz der Sonnenstralen auf die erste Seite des Prisma erklären, ohne eine verschiedene Brechbarkeit der Farben zu Hilfe nehmen zu dürfen. Im April 1672. machte ihm jedoch Newton bemerklich, dafs auch er selbst anfänglich von diesem Wahne befangen gewesen sei, bis eine mathematische Prüfung, auf welche er seinen Gegner verwies, ihn von der Nichtigkeit desselben überzeugt hätte. Pardies sahe hierauf zwar seinen Irrthum ein, fand sich jedoch durch die neue Farbenlehre so wenig befriedigt, dafs er die Abweichung des Spektrums von der kreisförmigen Gestalt lieber aus einer Diffraktion des Lichtes erklären zu müssen glaubte. Da es Newton'n nicht schwer wurde, auch das Ungereimte dieser Voraussetzung nach-

zuweisen, so hielt es **Pardies** für rathsam, sich für immer vom Kampfplatze zurückzuziehen.[1])

Kaum hatte **Newton** diesen ersten Gegner zum Schweigen gebracht, als er sich schon wieder angegriffen sahe. Ein Ungenannter, ohne Zweifel **Hooke**, bestritt zwar nicht die verschiedene Brechbarkeit des Lichtes, glaubte sich jedoch eben so wenig mit den Folgerungen, die **Newton** im Betreff der dioptrischen Fernröhre aus derselben gezogen hatte, wie mit dessen Aeufserungen über die innere Natur und die Fortpflanzung des Lichtes einverstanden erklären zu können. **Newton** vertheidigte sich dagegen in einer, unter dem 18. November 1672. in die „Transaktionen" aufgenommenen Antwort. Was den ersten Vorwurf betreffe, dafs er zu vorschnell die Möglichkeit einer Verbesserung der dioptrischen Fernröhre bestritten habe: so könne er dies nur insofern zugeben, als man dieselbe von einer passenderen, als der sphärischen Form der Gläser erwarten wolle. Denn er selbst hätte ja den Vorschlag gemacht, das Objektiv, von welchem die Verbesserung dieser Instrumente hauptsächlich abhängt, aus zwei Gläsern, zwischen welche Wasser oder eine andere Flüssigkeit gebracht wird, zusammenzusetzen. Im Betreff des zweiten Vorwurfes, dafs er das Licht vielmehr für einen körperlichen Stoff, als für eine, den Aether in vibrirende Schwingungen versetzende Energie halte, wolle er allerdings nicht leugnen, dafs er zu dieser Ansicht hinneige; sie stehe jedoch mit der von ihm entdeckten Eigenschaft des Lichtes in gar keiner Beziehung. Er habe es daher auch, weil ihm die wahre Natur des Lichtes zweifelhaft gewesen sei, absichtlich vermieden, über die Art und Weise, wie

1) *Opusc.*, tom. II. pag. 315. sqq.

es sich fortpflanze, irgend etwas Positives zu behaupten. Wolle man übrigens die von Hooke und Huygens vertheidigte Hypothese festhalten, dafs die Empfindung des Sehens durch Vibrationen des Aethers auf ähnliche Weise erzeugt werde, wie die Empfindung des Hörens durch die Vibrationen der Luft: so sei es leicht, die verschiedene Brechbarkeit des Lichtes in die Sprache derselben zu übertragen. Die Empfindung des weifsen Lichtes wäre alsdann die dadurch bewirkte, dafs alle, von dem leuchtenden Körper ausgehenden Vibrationen mit einander vermischt ins Auge gelangen; die Empfindung des farbigen Lichtes aber würde man alsdann aus einer Trennung der ungleichen Vibrationen, die durch den Widerstand der brechenden Mittel erfolgt, zu erklären haben. Da nämlich die gröfseren und längeren Vibrationen die Empfindung der rothen, die kleineren und kürzeren die der violetten, und die, welche in der Mitte zwischen jenen liegen, die der mittleren Farben erzeugen: so können die gröfseren jenen Widerstand leichter überwinden, und erleiden eben daher geringere Brechungen, als die kürzeren. Die verschiedene Brechbarkeit des Lichtes stehe also mit der Hypothese, dafs die Farben durch Aether-Vibrationen von verschiedener Geschwindigkeit auf ähnliche Weise entstehen, wie die Töne durch ungleiche Luft-Vibrationen, keinesweges im Widerspruche. Was endlich der ungenannte Gegner damit sagen wolle, dafs die Farben nur die beiden Seiten einer getrennten Vibration sein, dafs man sie alle daher auf zwei müsse zurückführen können: so gesteht Newton, dafs er dies nicht verstehe, dafs aber die Annahme zweier

Grundfarben den, durch seine Experimente gewonnenen Thatsachen, namentlich dem *Experimentum crucis* widerstreite.[1])

Auch Huygens trat, nicht was die verschiedene Brechbarkeit, sondern nur die Anzahl der unveränderlichen Farben betrifft, beinahe gleichzeitig mit Hooke gegen Newton auf. In einem kurzen, unter dem 21. Juli 1673. in die „Transaktionen" aufgenommenen, und von Paris an Oldenburg gerichteten Briefe äufsert Huygens nämlich die Meinung, dafs die neue Farbenlehre sich auch wohl mit zwei einfachen Farben, der gelben und blauen, hätte begnügen können, ohne sich jedoch auf irgend eine nähere Begründung dieser Meinung einzulassen. Da Newton mit einiger Empfindlichkeit hierauf antwortete, weil man dieselben Einwendungen, die er bereits zurückgewiesen hätte, wiederhole, ohne einen Grund anzugeben, warum seine Antworten nicht genügen: so setzte Huygens, dem es hierbei auf nichts anderes angekommen zu sein scheint, als dafs seine Undulations-Theorie nicht in Gefahr gerathe, seinen Briefwechsel mit Oldenburg dieser Angelegenheit wegen nicht weiter fort.[2])

Ein anderer Gegner, der eben so, wie Pardies, gar nicht im Stande war, Newton's Entdeckung zu begreifen, ist Franciscus Linus, ein Arzt in Lüttich. Im Octbr. 1674. schrieb er an einen Freund in London einen Brief, in welchem er die Wahrheit der Newtonschen Farbenlehre bezweifelte, weil er das Spektrum zwar auch zuweilen mehr lang, als breit gefunden habe, jedoch nie, wenn der Himmel in der

1) *Opusc.*, tom. II, pag. 335. *Verum quidem est, quod ex mea theoria arguo, lucem esse corpus.*
2) *Ibid.*, pag. 359.

Nähe der Sonne heiter und von Wolken frei war, sondern nur, wenn die Sonne entweder durch eine helle Wolke schien, oder nahe Wolken erleuchtete. In diesem Falle aber, meint Linus, könne sich die Erscheinung nicht anders darbieten, weil diese Wolken die Sonnenscheibe gleichsam vergröfsern, und an der Oeffnung des Fensters einen viel gröfseren Winkel bilden, als die Stralen der wirklichen Sonne. Es sein zwar dreifsig Jahre verflossen, seitdem er Experimente dieser Art angestellt, und sie unter anderen auch dem Sir Kenelm Digby gezeigt habe; indefs würde Newton, wenn er seine optischen Versuche mit derselben Vorsicht angestellt hätte, wie er (Linus) es damals gethan, gewifs nie mit so unhaltbaren Behauptungen aufgetreten sein.[1])

Als Newton von diesem Briefe in Kenntnifs gesetzt wurde, hielt er es nicht für der Mühe werth, so nichtige Einwürfe zu widerlegen. Es wurde vielmehr Linus aufgefordert, die an Pardies übersandte Abhandlung lesen zu wollen, und überzeugt zu sein, dafs Newton die Experimente, auf welche er seine Theorie gründete, bei heiterem Himmel angestellt habe, auch dafs das Prisma so nahe, als möglich, an die Oeffnung des Fensters gebracht worden sei, damit sich das Licht nicht innerhalb des Zimmers ausbreiten konnte, und dafs das Spektrum nicht, wie Linus angebe, der Achse des Prisma parallel, sondern perpendikulär auf derselben gewesen sei.[2])

Linus beruhigte sich bei dieser Antwort nicht, sondern schrieb am 25. Febr. 16$\frac{74}{75}$. an seinen Freund,

1) *Opusc.*, tom. II, pag. 374. *Nunquam hoc opus, quod perfici nequit, suscepisset.*
2) *Ibid.*, pag. 377.

dafs, wenn die eben angegebenen Umstände bei den Experimenten Newton's wirklich Statt gefunden hätten, dies wenigstens aus der Beschreibung, die von denselben gemacht worden sei, nicht habe entnommen werden können. Er müsse übrigens die Versicherung wiederholen, dafs Newton sich bei seinen Beobachtungen getäuscht habe, dafs z. B. die Enden des Spektrums sich bei heiterem Himmel nie kreisrund zeigen, so wie auch nie, wenn das Prisma sehr nahe an die Oeffnung des Fensters gebracht werde, und wenn das Spektrum perpendikulär auf der Achse des Prisma stehe. Käme jedoch der Einflufs der Wolken hinzu, so sei das Sonnenbild immer der Achse des Prisma parallel, und an den Enden kreisförmig, wenn es mehr lang, als breit erscheint; rühre es aber unmittelbar von den Stralen der Sonne her, so sei es zwar perpendikulär auf der Achse, an seinen Enden aber kegelförmig.[1])

Nur auf die dringenden Bitten Oldenburg's entschlofs sich endlich Newton, am 13. Novbr. 1675. auf diesen zweiten Brief des Linus zu antworten. Er hätte zwar, sagt er in diesem Briefe, bereits erklärt, dafs er es für ein unnützes Geschäft halte, auf einen Streit einzugehen, der nicht die Richtigkeit einer Schlufsfolge, sondern Thatsachen betreffe, von deren Wahrheit man sich nur durch die, hierzu erforderlichen Versuche überzeugen könne; indefs wolle er den Linus nochmals darüber belehren, wie das Experiment anzustellen sei, weil aus seinen Briefen hervorgehe, dafs er die in den „Transaktionen" gegebene Beschreibung desselben nicht genau beachtet habe. Er möge das Prisma so nahe, als er nur wolle, an die

3) *Opusc.*, tom. II, pag. 378.

Oeffnung des Fensters bringen, die etwa die Dicke einer Erbse haben könne, und es so stellen, dafs die Achse desselben mit den Sonnenstralen rechte Winkel bildet. Werde hierauf das Prisma um seine Achse gedreht, so sehe man das Spektrum an der gegenüber liegenden Wand sich zuerst nach der Stelle hin bewegen, welche eine, von der Sonne direkt gezogene Linie treffen würde; bald hernach aber rückwärts. In dieser Lage nun, wenn das Sonnenbild eine entgegengesetzte Bewegung annimmt, möge Linus das Prisma befestigen, weil alsdann die Brechungen auf beiden Seiten desselben gleich sind. Alsdann aber werde er das Sonnenbild, so heiter auch der Himmel sein mag, nie rund, sondern jedesmal von länglicher Gestalt sehen, bei der die Breite um so mehr von der Länge übertroffen wird, je gröfser der Brechungswinkel, und je weiter entfernt vom Prisma die Ebene ist, auf welche die Farben fallen: auch sein alsdann die Enden des Bildes nicht kegel-, sondern kreisförmig, und seine Länge der Achse des Prisma nicht parallel, sondern perpendikulär auf derselben. Auf diese Weise habe er das Experiment immer angestellt, und nie anders, als bei wolkenfreiem Himmel einen glücklichen Erfolg erlangt. [1])

Wahrscheinlich hat Linus diesen Brief nicht mehr gelesen, denn schon am 15. Decbr. 1675. übernahm, nach dem Tode desselben, sein Schüler Gascoigne die Antwort, in welcher er erklärt, dafs er und mehrere andere Zeugen das Sonnenbild kreisrund gesehen hätten, sie aber dasselbe Vertrauen, wie Newton, zu verdienen glaubten, dafs jedoch dieser Widerspruch in der Art, wie das Prisma gestellt worden sei, und

1) *Opusc.*, tom. II, pag. 381.

in der Gröfse der Oeffnung vielleicht seine Lösung finden könne.[1])

Am 10. Januar $16\frac{75}{76}$ antwortete hierauf Newton, dafs, da Gascoigne vermuthe, es habe Linus dem Prisma nicht die erforderliche Stellung gegeben, die dreifache Art von Bildern, die durch dasselbe entstehen könnten, nicht übersehen werden dürfe. Das Bild der ersten Art, durch lebhafte Farben ausgezeichnet, sei von länglicher Gestalt, und von diesem spreche Newton; das der zweiten, welches durch zwei Refraktionen und eine Reflexion entsteht, sei länglich und farblos, wenn die Winkel an der reflektirenden Basis des Prisma gleich, farbig aber, wenn sie ungleich sind; das der dritten werde nur durch eine Reflexion erzeugt, und dies sei immer rund und farblos. Wahrscheinlich würde Linus das zweite statt des ersten Bildes genommen haben. Doch lasse sich das eine von dem anderen dadurch, dafs beide sich auf ganz verschiedene Weise bewegen, leicht unterscheiden. Denn sobald das Prisma immer nach derselben Richtung gedreht werde, so bewegen sich das zweite und dritte Bild schnell, und immer nach derselben Seite hin, bis sie verschwinden; das erste aber langsam und immer langsamer, bis es stillsteht, hierauf zurückgeht, und rückwärts immer schneller geht, bis es an derselben Stelle verschwindet, an der es sich zu zeigen anfing.[2])

Dieser Brief scheint die Vertheidiger des Linus endlich überzeugt zu haben. Gascoigne selbst beantwortete ihn nicht, sondern ein gewisser Antonius Lucas in Lüttich, der zwar die Wahrheit der New-

1) *Opusc.*, tom. II, pag. 384.
2) *Ibid.*, pag. 385.

tonschen Entdeckung anerkannte, nichtsdestoweniger aber versicherte, dafs das Resultat seiner Beobachtungen ein wenig anders ausgefallen sei, als es Newton angebe. Sein Prisma habe einen brechenden Winkel von 60°, die das Spektrum auffangende Ebene sei ungefähr 18 Fufs von dem Fenster entfernt gewesen, der Durchmesser der Oeffnung habe etwa den achten Theil einer Daumenbreite, der Abstand des Prisma von der Oeffnung ungefähr zwei Daumenbreiten betragen, auch sein die Brechungen auf beiden Seiten des Prisma gleich gewesen: dennoch aber habe Lucas das Sonnenbild nie fünfmal, sondern nur drei- oder höchstens dreieinhalbmal so lang als breit gefunden. Wenn er also auch den Behauptungen Newton's im Wesentlichen beistimmen müsse, so könne er doch nicht unterlassen, einige Bedenken, auf die ihn andere Versuche geleitet hätten, anzuführen.

Er habe Seidenfäden von verschiedener Farbe um ein Lineal gewickelt, dasselbe auf den Boden eines, mit Wasser gefüllten Gefäfses gelegt, und sei so weit von demselben fortgegangen, dafs er das Lineal nur durch gebrochene Stralen habe sehen können. Wäre nun Newton's Lehre wahr, so könnten sich nicht alle jene Farben in einer und derselben geraden Linie zeigen, weil eine verschiedene Refrangibilität einige Stralen mehr, andere weniger aus ihrer Stelle rücken müsse. Gleichwohl hätten ihn wiederholte Versuche vom Gegentheil überführt; das Lineal sei gerade erschienen, eben so, wie man es ohne Brechung sahe. Ja er habe selbst jener, durchs Wasser bewirkten Brechung noch eine zweite und dritte hinzugefügt, indem er die Seidenfäden durch ein Prisma betrachtet hätte; nichtsdestoweniger aber habe er die Farben in derselben geraden Linie gesehen. In der Voraussetzung, dafs

bei ihm selbst eine optische Täuschung vorwalten könne, indem er die Lage der ungebrochenen Farben kannte, habe er einige Freunde um ihr Urtheil gebeten; es sei dies aber ganz dasselbe, wie sein eigenes gewesen.

Er habe ferner zwei Stücke Papier, ein rothes und ein blaues, so an eine Wand befestigt, dafs die Enden beider Farben eine und dieselbe Horizontal-Linie bildeten. Beide aber habe er, wenn er sie durch ein Prisma betrachtete, immer wieder in einer und derselben horizontalen Linie liegen sehen. Ferner habe er eine kreisrunde Scheibe von weifsem Papiere zuerst gegen einen dunkleren Gegenstand gelegt, und sie dann, sobald er sie durch ein Prisma betrachtete, oben von einem rothen, und unten von einem blauen Saume, umgekehrt aber, wenn er sie gegen erleuchtete Wolken hielt, oben von einem blauen, und unten von einem rothen Saume umgeben gefunden. Was ihn aber bei diesen Versuchen in das gröfste Erstaunen versetzt hätte, sei dies gewesen, dafs er durch die farbigen Säume die dahinter gelegenen Gegenstände habe erkennen können. Er müsse daher hieraus folgern, dafs nicht allein das Licht, welches von dem Papiere reflektirt wird, sondern auch das von der umgebenden Luft reflektirte zur Erzeugung der Farben beitrage; ferner dafs, wenn sich ein Körper, der glänzender wäre, als die Sonne, hinter dieser befände, die Farben in dem Spektrum in umgekehrter Ordnung erscheinen würden; endlich drittens, dafs die Folge der prismatischen Farben nicht von einer inneren Eigenthümlichkeit des Lichtes, sondern von äufseren und zufälligen Umständen abhänge.

Auch von der Behauptung Newton's, dafs die gelbe Farbe eine einfache sei, könne er sich nicht für

überzeugt halten. Er habe eine dünne Lamelle von Elfenbein in die Oeffnung eines Fensterladens gebracht, und es sei das durchscheinende Licht gelb gewesen. Hätte er aber drei, vier und mehrere solcher Lamellen an einander gefügt, so sei die gelbe Farbe in die rothe übergegangen. Es scheine daher, dafs Gelb aus Roth und anderen Farben zusammengesetzt sei.

Endlich könne ihn auch die Erklärung, welche Newton über die, von Hooke gemachte Beobachtung gebe, dafs zwei Liquoren, ein blauer und ein rother, von denen jeder für sich durchsichtig ist, sobald sie hinter einander gestellt werden, undurchsichtig sind, nicht befriedigen. Es komme dies daher, sage Newton, dafs, weil der eine Liquor nur die rothen, der andere nur die blauen Stralen durchläfst, beide zugleich keine durchlassen können. Er habe aber zwei gläserne Gefäfse, das eine mit blauem Alkohol, das andere mit rothem Terpentin-Oele angefüllt, und Alles sei durch jenen Liquor in blauer Farbe, durch diesen in rother erschienen. Hätte er aber beide hinter einander gestellt, so sein sie nicht undurchsichtig gewesen.[1])

In diesem Briefe des Lucas vermifste Newton nicht den wissenschaftlichen Geist, den eine so schwierige Untersuchung erfordert. Seine Antwort auf die neuen, auf den ersten Blick nicht unbegründeten Bedenken, die hier gegen seine Theorie erhoben werden, zeugt daher nicht von derselben Empfindlichkeit, die in seinen früheren Briefen unverkennbar ist. Was zuerst die Länge des Spektrums betreffe, so hätte er zwar in den vorigen Antworten die Gröfse des brechenden Winkels nicht angegeben, indefs doch bemerkt,

1) *Opusc.*, tom. II, pag. 394.

dafs die Länge des Spektrums, im Vergleiche mit der Breite, desto gröfser sei, je gröfser dieser Winkel ist. Lucas gebe den brechenden Winkel seines Prisma auf 60° an. Er hätte daher leicht folgern können, dafs, wenn er einen brechenden Winkel von 70 oder 75 Graden genommen hätte, das Spektrum nicht blofs fünfmal so lang, als breit, sondern noch länger erschienen sein würde. Der brechende Winkel seines eigenen Prisma, dessen Spektrum fünfmal so lang, als breit gewesen sei, habe 63° 12′. Wenn nun auch ein Unterschied von 3° 12′ in den brechenden Winkeln nicht einen solchen Unterschied in der Länge, wie ihn Lucas finde, zur Folge haben könne: so sei es doch möglich, dafs Lucas sich um einige Grade bei der Messung des Winkels geirrt habe. Hierzu komme, dafs, wenn der Himmel nicht völlig wolkenleer ist, die Länge des Spektrums bald ein wenig gröfser, bald ein wenig kleiner ausfällt, je nachdem die Sonne mehr oder weniger von den dünnen, vor ihrer Scheibe vorübergehenden Wölkchen verdunkelt wird. Auch könnten hierbei noch andere Umstände eingewirkt haben. Vielleicht sein die Seiten des Prisma nicht vollkommen eben gewesen; vielleicht hätten auch beide Prismen, das seinige und das des Lucas, eine verschiedene Brechungskraft; vielleicht könne selbst die Verschiedenheit des Sonnendurchmessers in verschiedenen Jahreszeiten von Einflufs gewesen sein. Was aber die übrigen, in jenem Briefe enthaltenen Bedenken betreffe, so könne es zwar dem Entdecker der verschiedenen Brechbarkeit nicht anders, als angenehm sein, dafs Lucas zuerst dieselbe genauer zu prüfen unternommen habe; indefs könne sich Newton auf die Beseitigung jener Bedenken, der unabsehbaren Weitläufigkeiten wegen, in welche ihn dies verwickeln würde, nicht einlassen.

Möge **Lucas** auch das *Experimentum crucis* anstellen, und er werde jeden Zweifel an der Wahrheit der Entdeckung aufgeben müssen. Denn es komme nicht auf die Anzahl der Experimente, sondern auf das Gewicht derselben an, und, wo ein einziges hinreicht, da bedürfe es nicht mehrerer.[1])

Diese Antwort hatte zur Folge, dafs **Newton** nicht weiter durch Briefe aus Lüttich behelligt wurde. Auch war sein Ansehen durch seine übrigen Entdeckungen, besonders durch seine Gravitations-Theorie unterdefs so sehr gestiegen, dafs man sich überhaupt in den nächsten Decennien nicht darauf einlassen mogte, ihn eines Irrthums überführen zu wollen, sondern viel lieber der eigenen Schwäche die Schuld beimaafs, wenn man ihm in seinen tiefen Spekulationen nicht überall folgen konnte.

So mogte es denn gekommen sein, dafs die von **Mariotte** gegen das zweite Princip der **Newton**schen Farbenlehre geäufserten Zweifel[2]) erst im Jahre 1713. zur Sprache gebracht wurden[3]), ungeachtet jener schon im Jahre 1684. gestorben war. **Mariotte** hatte das, durch eine kleine Oeffnung in ein dunkeles Zimmer geleitete, und durch ein Prisma gebrochene Sonnenlicht in einer Entfernung von dreifsig Fufs aufgefangen, hierauf die violetten Stralen durch einen Einschnitt, den er in das Papier gemacht, und der etwa

1) *Opusc.*, tom. II, pag. 401. Dieselben Einwürfe, die **Lucas** machte, sind auch von **Goethe** wiederholt worden, der darauf besonders, dafs ein mit verschiedenen Farben überzogenes Lineal, das man ins Wasser legt, eben erscheint, ohne dafs sich eine Farbe über die andere erhebt, ein grofses Gewicht legte. Ich werde auf die Widerlegung dieses und der übrigen Einwürfe sogleich zurückkommen.

2) *Traité de la nature des couleurs. Paris*, 1688.

3) *Acta erud.* 1713., pag. 447.

eine Breite von zwei Linien hatte, hindurchgelassen, und dieses Licht noch einmal durch ein dahinter gestelltes Prisma gebrochen; nichtsdestoweniger aber diese Stralen nicht homogen gefunden. Dasselbe hatte er auch von dem prismatischen Roth behaupten zu müssen geglaubt.

Da es Newton'n zu verdriefslich sein mogte, in seinem Alter von neuem auf den polemischen Schauplatz zu treten, so übertrug er die Widerlegung jenes Einwurfes dem Professor Desaguliers in Oxford, der damals seines geschickten Experimentirens wegen besonders berühmt war. Dieser erfüllte den Auftrag in den „Transaktionen", [1]) indem er erklärte, dafs Mariotte die Farben nicht hinreichend gesondert habe, um von ihrer Unzerlegbarkeit überzeugt werden zu können. Hätte er, wie dies Newton in dem eilften Experimente des ersten Buches der „Optik" gelehrt habe, die Sonnenstralen durch eine Linse geleitet, ehe er sie auf das erste Prisma fallen liefs: so würde er keine Säume an den homogenen Farben bemerkt haben, wie die Societät, in deren Gegenwart der Newtonsche Versuch wiederholt worden sei, dies verbürgen könne.

Aber auch hiermit war der Kampf, den Newton gegen seine Farbenlehre entstehen sahe, noch nicht beendigt; er selbst, wenige Jahre vor seinem Tode, sollte es noch erleben, von dem Venetianer Rizzetti mit einer Schonungslosigkeit angegriffen zu werden, wie dies bisher keiner seiner Gegner gethan hatte. Denn Rizzetti behauptete, alle Experimente Newton's wiederholt, sie alle aber, wegen Uebergehung irgend eines Umstandes, unzureichend und nichts weniger, als beweisend gefunden zu haben.

1) *Philos. Transact. for April—June*, 1716. pag. 433.

Newton hatte, wie wir wissen, die Stralen eines Papieres, das zur Hälfte roth, und zur Hälfte blau war, mit einer Linse, und das durch diese erzeugte Bild mit einem weifsen Papiere aufgefangen, und den Vereinigungspunkt der blauen Stralen ein wenig näher an der Linse, als den der rothen gefunden. Dieses Experiment hatte aber **Rizzetti'n** eben so wenig gelingen wollen, wie jenes, bei welchem **Newton**, als er das blau und roth gefärbte Papier durch ein Prisma mit aufwärts gekehrtem brechenden Winkel betrachtete, den blauen Theil durch die Refraktion höher gehoben, als den rothen beobachtete. **Rizzetti** hatte nämlich ein gleichmäfsig gefärbtes Papier mit Fäden von verschiedenen Farben überzogen, die Bilder derselben aber an jeder Stelle auf gleiche Weise deutlich oder undeutlich erblickt; auch hatte er, als statt des schwarzen Hintergrundes, der nach der Vorschrift **Newton's** dem blau und roth gefärbten Papiere gegeben worden war, ein weifser genommen wurde, bei einer aufwärts gehenden Brechung den blauen Rand nicht höher, als den rothen, sondern umgekehrt diesen vielmehr ein wenig höher, als jenen gesehen. Die harmonische Proportion, die **Newton** zwischen den, von den Hauptfarben eingenommenen Räumen beobachtet haben wollte, hatte **Rizzetti** zwar wiedergefunden, indefs doch nur für eine einzige Entfernung des Spektrums von dem Prisma.[1]) Ueberhaupt aber glaubte er, die verschiedene Brechbarkeit schon deshalb für eine Unwahrheit halten zu müssen, weil sonst, im Widerspruche mit der Erfahrung, ein blauer und rother Gegenstand, die sich in gleicher Entfernung von dem

1) *Acta erud. Suppl.* tom. VIII, pag. 237. in einem Briefe an die Societät.

Auge befinden, nicht zugleich deutlich erscheinen könnten.[1])

Als Vertheidiger Newton's trat dieses Mal Georg Friedrich Richter, Professor in Leipzig auf, der Rizzetti'n unverholen erklärte, dafs, wenn ihm die Newtonschen Versuche nicht hätten gelingen wollen, die Schuld nur an seinem unzureichenden Geschicke, oder an seiner Unachtsamkeit auf die, von Newton angegebenen Umstände gelegen habe. Denn dafs der Unterschied in den Vereinigungsweiten der rothen und blauen Stralen nicht so grofs sei, dafs man ihn sogleich auf den ersten Blick wahrnehmen könne, hätte Rizzetti schon daraus folgern sollen, dafs der seidene Faden, mit dem Newton das gefärbte Papier in mehreren Windungen umgab, nicht allein sehr schwarz, sondern auch sehr dünn war, damit das Papier von den feinsten und schärfsten Grenzen umzogen, und die geringste Undeutlichkeit in dem blauen oder rothen Theile auf diese Weise sogleich verrathen würde. Denn die Bilder der Fäden waren undeutlich und nicht anders scharf begrenzt, als wenn die Farben auf beiden Seiten eines jeden Fadens aufs deutlichste hervortraten. Wenn aber Rizzetti schon daraus, dafs ein blauer und rother Gegenstand dem blofsen Auge in derselben Entfernung gleich deutlich erscheinen, folgern wolle, dafs das Licht nicht verschieden brechbar sei, so wäre diese Art, zu experimentiren, ungefähr dieselbe, wie wenn jemand daraus, dafs man einen, schräge vor die Augen gehaltenen Stab an seinen beiden Enden deutlich sieht, folgern wollte, dafs das dioptrische Gesetz, nach welchem die

1) *Acta erud. Suppl.* tom. VIII, pag. 127. sqq. in einem Briefe an Martinelli.

Vereinigungsweite der, aus einem näheren Punkte kommenden Stralen gröfser ist, als die der Stralen, die von einem entfernteren Punkte ausgehen, unwahr sei. Mit welcher Vorsicht man übrigens bei jenem Experimente zu Werke gehen müsse, möge Rizzetti auch daraus entnehmen, dafs Desaguliers'n dasselbe erst dann sicher und vollkommen gelang, wenn er das Licht der Kerze, durch welche das blau und roth gefärbte Papier erleuchtet wurde, durch einen undurchsichtigen Körper verdeckte, wenn also überhaupt nicht blofs kein fremdes Licht, sondern selbst nicht einmal ein Stral der Kerze auf die Linse fiel. Rizzetti werde es daher begreiflich finden, dafs, wenn dem blau und roth gefärbten Papiere ein weifser Hintergrund gegeben wird, der blaue Saum nur wegen des fremden Lichtes dieses Hintergrundes nicht höher, als der rothe erscheine.[1])

Rizzetti beruhigte sich bei dieser Zurechtweisung nicht, sondern er veröffentlichte vielmehr im Jahre 1727., um seinen Streit vor ein gröfseres Publikum zu bringen, eine Abhandlung,[2]) in welcher er

1) *Acta erud. Suppl.* tom. VIII, pag. 226. sqq. Richter läfst sich auf eine völlig befriedigende Beseitigung dieses, auf den ersten Blick entscheidenden Beweises gegen die verschiedene Brechbarkeit hier nicht ein. Da auch Goethe besonders dieses Argument gegen Newton geltend macht, so werde ich sogleich Gelegenheit haben, nachzuweisen, wie es sich hiermit verhalte.

2) *De luminis affectionibus. Venet.* 8. Rizzetti hatte dies Buch dem Kardinal Polignac gewidmet, um diesen einflufsreichen Mann für seine Ansichten zu gewinnen. Dieser hatte indefs schon zu grofses Interesse an den optischen Entdeckungen Newton's genommen, als dafs er durch die ihm, von Rizzetti erwiesene Aufmerksamkeit hätte anderer Meinung werden sollen. In seinem Gedichte *Anti-Lucretius* (lib. II, vers. 874—880.) bekennt er unverholen seine Hinneigung zur Newtonschen Lehre. Wie lebhaft

auf eine höchst leidenschaftliche Weise gegen die Newtonsche Farbenlehre auftrat. Dies veranlaſste Desaguliers, im Jahre 1728., als Newton schon gestorben war, noch einmal die Vertheidigung der verschiedenen Brechbarkeit zu übernehmen, und vor der Societät die hierauf bezüglichen Experimente zu wiederholen. Der Erfolg derselben war aber eben so günstig für die Newtonsche Theorie, wie er es früher gegen die, von Mariotte erhobenen Bedenken gewesen war. Desaguliers unterlieſs es daher nicht, Rizzetti'n eine gröſsere Vorsicht bei seinen Experimenten anzurathen.[1])

Ungeachtet die verschiedene Brechbarkeit des Lichtes seit dem Anfange des achtzehnten Jahrhunderts allen dioptrischen Rechnungen zum Grunde gelegt war, und man in der durchgängigen Uebereinstimmung der Erfahrung mit den Resultaten der, auf jenes Princip gegründeten Untersuchungen eine unzweifelhafte Bürgschaft für die Wahrheit desselben gefunden hatte: so fehlte es doch auch dieses ganze Jahrhundert hindurch nicht an immer neuen Invektiven gegen die Newtonsche Theorie.

So glaubte Du Fay die Einfachheit der prismatischen Farben deshalb bezweifeln zu müssen, weil die Erfahrung aller Künstler lehre, daſs es nur drei Grundfarben (*couleurs matrices*, *primitives*), Roth, Gelb und Blau gebe, da man aus diesen alle übrigen zusammensetzen könne,[2]) — eine Behauptung, die Le

aber sein Interesse an derselben gewesen sei, ergiebt sich aus den *Anecdotes littéraires. Paris*, 1752. tom. III, pag. 252.

1) *Philos. Transact. for Decbr.* 1728. pag. 596.

2) *Mém. de l'acad. royale.* 1737., pag. 253. Da auch Goethe diesen Einwand gegen die Newtonsche Farben-Theorie macht, so werde ich hernach hierauf zurückkommen.

Blond zuerst ausgesprochen zu haben scheint,[1]) ohne jedoch hierin einen Grund gegen die verschiedene Brechbarkeit zu finden. Der Jesuit Castel aber, der sich auf eben diese Erfahrung stützt, sieht die gesammte Newtonsche Theorie durch dieselbe zerstört.[2])

Ein eben so entschiedener Gegner dieser Theorie ist auch Gautier.[3]) Da er bemerkt hatte, dafs der untere blaue Theil einer Flamme nicht mehr blau erscheine, wenn man ihm einen weifsen Hintergrund giebt, so folgerte er hieraus, dafs nicht allein die blaue, sondern auch jede andere Farbe nicht nur nicht eine einfache, sondern überhaupt nicht eine den Körpern eigenthümliche, sondern nur durch Nebenumstände bedingte sei.[4]) Auch hatte er durch die Mitte eines Prisma eine Wand gezogen, die eine Hälfte mit einer blauen, die andere mit einer rothen Flüssigkeit angefüllt, die beide, wie er naiv hinzufügt, mit verschiedenen Salzen versetzt waren; nichtsdestoweniger aber, nachdem die Sonnenstralen durch beide Flüssigkeiten hindurchgegangen waren, das eine Spektrum nicht höher, als das andere gefunden.[5]) Statt aber hieraus,

1) In seiner Schrift: *Il Colorito.* London, 1735. Ferner in Gautier's „*Chroagénésie*", in der Vorrede pag. 9., und in den *Mém. de l'acad. royale*, 1737., pag. 267.

2) *Optique des couleurs. Paris*, 1740. Castel nennt diese drei Grundfarben (pag. 87.) *couleurs mères*, und will (pag. 370.) ihre Entdeckung schon seit dem Jahre 1725., also viel früher, als Le Blond und Du Fay gemacht haben. Meine Meinung über dergleichen, zu spät bekannt gemachte Entdeckungen habe ich bereits in der Geschichte der Fernröhre ausgesprochen.

3) *Chroagénésie ou génération des couleurs, contre le système de Newton. Paris*, 1750. *Deux vol.* 8.

4) *Ibid.*, tom. II, pag. 70. Wie es sich hiermit verhalte, werde ich bei der Goetheschen Farbenlehre nachweisen.

5) *Ibid.*, tom. II, pag. 95.

wenn er sich anders bei seiner Beobachtung nicht täuschte, den Schlufs zu ziehen, dafs die eine Flüssigkeit eine andere brechende Kraft, als die andere hatte, glaubt er vielmehr durch diesen Versuch die Newtonsche Farbenlehre vernichtet zu haben. So greift er[1]) auch die, von Newton behauptete diverse Reflexibilität der prismatischen Farben an, weil er gefunden habe, dafs bei ihnen allen der Einfalls- dem Reflexionswinkel gleich sei, ungeachtet wir oben gesehen haben, dafs Newton mit seiner, für die Farbenlehre übrigens ganz unwesentlichen diversen Reflexibilität einen ganz anderen Sinn verbindet. Eben so ungereimt ist endlich der Einwand,[2]) dafs, wenn Roth ein anderes Brechungsverhältnifs, als Orange, und dieses wieder ein anderes, als Grün u. s. w. hat, diese Farben des Spektrums, in einer grofsen Entfernung aufgefangen, durch farblose Streifen von einander getrennt, und nicht in stätiger Aufeinanderfolge, wie dies dennoch die Erfahrung lehre, erscheinen müfsten; da es eine Thatsache ist, dafs die Farben durch unmerkliche Abstufungen vom äufsersten Roth bis zum äufsersten Violett übergehen, so dafs z. B. die an Orange grenzenden rothen Stralen dasselbe Brechungsverhältnifs mit den orangefarbenen haben.

Ich übergehe die nähere Erörterung der Einwürfe des Baron Marivetz,[3]) die er, ohne die Newtonsche Erklärung der farbigen Säume begriffen zu haben, darauf gründet, dafs eine weifse, und durch ein Prisma betrachtete Fläche, wenn man nicht ihre Ränder sieht,

1) *Chroag.*, tom. II, pag. 132.
2) *Ibid.*, tom. II, pag. 252.
3) *Physique du monde, dédiée au roi, par le baron de Marivetz et par M. Goussier. Paris*, 1780 — 1786. Vol. IV, pag. 338 sqq.

keine Farben zeigt, und will nur noch, ehe ich zu dem Hauptfeinde Newton's, unserem Goethe, übergehe, mit wenigen Worten Marat's erwähnen, desselben, der unter den Dolchstichen der Charlotte Corday starb. Vor der Revolution dem naturwissenschaftlichen Studium ergeben, hatte er seine Pfeile besonders gegen die Newtonsche Farbenlehre gerichtet; ja er veranlaſste es sogar durch seinen Einfluſs bei dem Herzoge von Villeroy, daſs, ungeachtet jeder Sachverständige an der verschiedenen Brechbarkeit auch nicht den mindesten Zweifel mehr hegte, die Akademie von Lyon eine goldene Medaille, im Werthe von 300 Franks, für eine Abhandlung über die Frage, „ob die Experimente, auf welche Newton die diverse Refrangibilität gegründet habe, wirklich überzeugend, oder nur täuschend sind", als Preis aussetzte. Ungeachtet der Herzog von Villeroy Protektor der Akademie war, so konnte diese dennoch nicht umhin, in ihrer Sitzung am 17. August 1776. dem Astronomen Flaugergues den Preis, und dem Professor Brugmann in Gröningen das Accessit zu ertheilen, die beide die Newtonsche Theorie aufs siegreichste vertreten hatten.[1]) Nichtsdestoweniger erklärte[2]) Marat die ganze Newtonsche Farbenlehre für ein bloſses Phantom. Es entstünden die Farben des Spektrums nicht etwa durch eine Brechung im Prisma, sondern vermöge einer Ablenkung der Stralen an den Rändern der Fenster-Oeffnung, oder den Ungleichheiten des Prisma; das Sonnenlicht lasse sich folglich nicht durch eine Refraktion in Farben zersetzen; diese sein daher auch nicht divers refrangibel. Diese Behauptungen

1) *Montucla, Hist. des mathématiques*, tom. III, pag. 595.
2) In den „*Découvertes sur la lumière*". 1780.

gründete er besonders darauf, dafs, wenn er die Spitze des durch eine Linse erzeugten Stralenkegels auf ein Prisma fallen liefs, sich hinter demselben nicht das Spektrum mit den gewöhnlichen Farben, sondern eine weifse Fläche zeigte, die oben und unten mit gefärbten Halbmöndchen umgeben war, ohne begreifen zu können, dafs dies alles im Einklange mit der Newtonschen Theorie stehe. Denn wenn man die Stralen nicht, wie es Newton that, parallel, sondern unter Winkeln, die viel gröfser sind, als die Divergenz der am wenigsten und meisten brechbaren Stralen, wie es bei dem Lichtkegel einer Linse geschieht, auf das Prisma leitet: so decken sich die Farben des Spektrums gröfstentheils, und können daher nur in den Grenzen roth und blau erscheinen.

Die Einwürfe Goethe's gegen die Newtonsche Theorie.

Nachdem es Euler'n gelungen war, die Konstruktion der achromatischen Fernröhre aus dem Principe der diversen Refrangibilität mathematisch zu bestimmen, und die Erfahrung überall in Uebereinstimmung mit der Theorie zu finden, konnte man nach diesem glänzendsten Triumphe, den die Newtonsche Farbenlehre davongetragen hatte, erwarten, dafs nunmehr aller Kampf gegen dieselbe aufhören werde. Nichtsdestoweniger wurde er von neuem begonnen, und zwar mit einer solchen Hintansetzung aller Rücksichten, die man einem, um das Menschengeschlecht aufs höchste verdienten Manne auch selbst dann, wenn er einmal geirrt haben sollte, schuldig bleibt, dafs dagegen alle Leidenschaftlichkeit Rizzetti's als verzeihlich erscheint. Denn Goethe spricht es unumwunden und wiederholentlich aus, dafs Newton — ein Mann, dem

nichts heiliger war, als die Wahrheit — den Irrthum, dem er unterlag, wohl eingesehen, damit er aber seinen Gegnern nicht das Feld räume, alle Kunstgriffe aufgeboten habe, um Leichtgläubige zu hintergehen; ja er scheut sich nicht, alle diejenigen, die der Newtonschen Lehre gehuldigt, und auf dieselbe gestützt, die Optik zu der Höhe, auf der sie sich befindet, erhoben haben, als blinde „Nachbeter der Newtonschen Unrichtigkeiten" anzuklagen. Nirgend anderswoher aber sollen diese Männer ihre betrügerischen Kunstgriffe entlehnt haben, als aus der Mathematik, die in der Optik zu nichts Anderem nützlich sei, als „Sandwellen über streitige Gegenstände hinzutreiben, und sie damit zuzudecken".

Bei einer solchen, gegen Newton und alle gründlichen Kenner der Physik erhobenen Anklage ist man berechtigt, in Goethe's Werk „Zur Farbenlehre" [1]) ein Meisterstück eines klaren und folgerechten Vortrages zu erwarten; man ist zu der Hoffnung aufgefordert, die Einwürfe, die gegen die Newtonsche Theorie gemacht werden, mit aller Vorsicht begründet, und hierauf die Principien der neuen Theorie, als ausreichend zur Erklärung aller Farbenerscheinungen festgestellt zu sehen. Wie aber wird man in dieser gerechten Erwartung getäuscht, wenn man findet, dafs die Invektiven gegen Newton durch das ganze Werk von bedeutendem Umfange vereinzelt, und dafs sie am Ende durchaus keine anderen sind, als die von den früheren Gegnern gemachten; wenn man findet, dafs die Principien der neuen Farbenlehre aus dem ganzen Werke erst mühsam zusammengesucht werden müssen, und dafs sie in nichts Anderem, als einer flüchtig hin-

1) Es erschien im Jahre 1810. in Tübingen in zwei Theilen.

geworfenen Aeufserung de la Hire's begründet sind; wenn man endlich findet, dafs die Folgerungen, die Goethe aus diesen Principien gezogen hat, selbst mit den ersten Elementen der Dioptrik im Widerspruche stehen.[1])

Da die verschiedene Brechbarkeit das Fundament der Newtonschen Theorie ist, so richtet Goethe denn auch seine Ausfälle besonders gegen dieses Princip, und äufsert sich über das erste Experiment des ersten Buches der „Optik", durch welches Newton sich überzeugte, dafs man, wenn ein rothes und ein blaues Parallelogramm von Papier auf schwarzem Hintergrunde so neben einander gelegt werden, dafs die oberen Ränder derselben in gleicher Höhe liegen, und beide Parallelogramme durch eine vertikale Linie von einander getrennt sind, bei einer aufwärts gehenden Brechung den blauen Rand mehr gehoben, als den rothen erblickt, unter anderen folgendermaafsen:

> „Die Mängel der Newtonschen Lehre, das Captiose und Unzulängliche ihrer Experimente sieht Rizzetti sehr gut ein. Er führt seine Controvers nach der Ordnung der Optik, und ist den Newtonschen Unrichtigkeiten ziemlich auf der Spur; doch durchdringt er sie nicht ganz, und giebt z. B. gleich bei dem ersten Versuche ungeschickter Weise zu, dafs das blaue und rothe Bild auf dunkelem Grunde wirklich ungleich verrückt werde, da ihm doch sonst die Erscheinung der Säume nicht unbekannt ist. Dann bringt er die beiden Papiere auf weifsen Grund, wo denn freilich durch ganz andere Säume für den Unbefan-

1) Unter den gegen Goethe gerichteten Schriften sind besonders zu nennen: „Ueber Newton's Farben-Theorie, Herrn v. Goethe's Farbenlehre, und den chemischen Gegensatz der Farben", von Pfaff. Leipzig, 1813. Ferner: Brandes in der neuen Ausgabe des Gehlerschen Wörterbuches unter dem Artikel: Farbe. Ferner: Malus in den *Annales de Chimie*, Ao. 1811. und Gilbert's Ann., Bd. 40., pag. 103.

genen die Unrichtigkeit, die sich auf schwarzem Grunde versteckt, augenfällig werden mufs."[1])

Dafs bei der aufwärts gehenden Brechung, wenn der Hintergrund schwarz ist, das blaue Bild höher, und bei der Brechung abwärts niedriger, als das rothe erscheint, leugnet also Goethe nicht; es soll dies aber nach seiner Meinung nicht durch eine verschiedene Brechbarkeit der rothen und blauen Stralen, sondern dadurch entstehen, dafs bei jeder Brechung eine Verrückung des Bildes Statt finde, und dafs, wenn diese Verrückung gegen einen dunkelen Hintergrund aufwärts erfolgt, ein blauer, wenn der Hintergrund aber heller ist, ein rother Saum an dem Bilde sichtbar werde. Da nun bei dem, von Newton angestellten Experimente der Hintergrund so dunkel, als möglich, gemacht war: so sei es, meint Goethe, eine blofse Täuschung, wenn das blaue Bild höher erscheint, es sei nämlich durch den blauen, bei seiner Verrückung entstandenen Saum verlängert worden. Dafs Newton Unrecht habe, falle noch mehr in die Augen, wenn man den Hintergrund weifs nimmt, indem alsdann das blaue Bild keineswegs höher, als das rothe erscheine.

Goethe hat also selbst bei diesem einfachsten unter den Newtonschen Versuchen nicht auf alle, ihn begleitende Umstände Rücksicht genommen. Denn er bleibt uns, wenn der Hintergrund schwarz ist, die Beantwortung der Frage schuldig, warum der blaue Saum, wenn beide Farben gleich brechbar, und daher beide Bilder gleich stark aus ihrer Stelle gerückt sind, nicht auch bei beiden in gleicher Höhe erscheine, warum er denn bei dem blauen Bilde viel höher, als bei dem rothen hinaufreiche. Ist aber der Hintergrund weifs,

1) Farbenl., Bd. 2., pag. 463.

so vergifst Goethe dasselbe Recht der Newtonschen Theorie einzuräumen, das er bei dem schwarzen Hintergrunde für sich in Anspruch nimmt. Der nicht aus der blofsen Verrückung der Bilder, wie sich bei der Prüfung der Goetheschen „Grundphänomene" zeigen wird, sondern aus dem weifsen Hintergrunde entstehende rothe Saum schliefst sich jetzt an das rothe Bild an, und verlängert es, so dafs beide in gleicher Höhe erscheinen; dafs aber dennoch das blaue Bild gerade so, wie wenn der Hintergrund schwarz ist, höher liege, als das rothe, zeigt schon die ganz verschiedene Nuancirung der Säume beider Bilder, indem der des blauen purpurfarben erscheint, weil das blaue Bild über den rothen Saum des Hintergrundes fortgerückt ist. Da aber dieses Experiment, mit Farben irdischer Körper angestellt, die nie in völliger Reinheit bestehen, ohnedies mifslich, und das Resultat desselben noch schwerer zu beurtheilen ist, wenn man zugleich dem fremdartigen Lichte des Hintergrundes einen Einflufs gestattet: so rieth daher Newton, den Hintergrund so dunkel, als es nur möglich ist, zu nehmen. Dafs er dieses Experiment gerade an die Spitze seiner „Optik" stellte, was ihm von Goethe zu einem grofsen Vergehen angerechnet wird, geschah bei der Absicht, in welcher er dieses Werk schrieb, ohne Zweifel deshalb, weil es mit dem einfachsten Apparate angestellt werden kann, und in der Weise, die Newton vorschrieb, auch dem in die Wissenschaft nicht Eingeweiheten Ueberzeugung gewährt.

Auffallend ist es übrigens, dafs Goethe, der, wie die dritte Tafel seiner Farbenlehre zeigt, sehr erfinderisch in der Abänderung dieses Versuches war, nicht auch auf den Gedanken verfiel, das blaue Bild nicht blofs neben das rothe, sondern auch unter- oder ober-

halb des rothen zu stellen, so dafs beide durch eine horizontale Linie von einander getrennt werden. Hätte er den Hintergrund schwarz, und das blaue Parallelogramm unten genommen, so würde ihm das Prisma einen purpurfarbenen Streifen zwischen beiden Bildern gezeigt haben, woraus denn doch gefolgert werden mufs, dafs das blaue Bild höher gehoben, und über das rothe fortgeführt sei; hätte er aber das rothe Parallelogramm unten genommen, so würde er nicht mehr jenen purpurfarbenen, sondern einen schwarzen Streifen zwischen beiden Bildern gesehen haben, als wäre das höher gehobene blaue von dem rothen losgerissen. Vielleicht hätte ihn dieser Versuch von der verschiedenen Brechbarkeit der farbigen Stralen überzeugt.

Die völlige Unhaltbarkeit jenes Newtonschen Experimentes glaubt Goethe auch durch folgenden Einwand, den, wie wir schon wissen, zuerst Antonius Lucas gemacht, und den Newton nicht widerlegt hatte, dargethan zu haben:

„Man verschaffe sich ein längliches Blech, das mit den Farben in der Ordnung des prismatischen Bildes der Reihe nach angestrichen ist. Man kann an den Enden Schwarz, Weifs und verschiedenes Grau hinzufügen. Dieses Blech legten wir in einen viereckten blechnen Kasten, und stellten uns so, dafs es ganz von dem einen Rande desselben für das Auge zugedeckt war. Wir liefsen alsdann Wasser hineingiefsen, und die Reihe der sämmtlichen Farbenbilder stieg gleichmäfsig über den Rand dem Auge entgegen, da doch, wenn sie divers refrangibel wären, die einen vorauseilen, und die anderen zurückbleiben müfsten. Dieses Experiment zerstört die Newtonsche Theorie von Grund aus, so wie ein anderes, das wir hier, weil es am Platze ist, einschalten. Man verschaffe sich zwei, etwa ellenlange, runde Stäbchen von der Stärke eines kleinen Fingers. Das eine werde blau, das andere orange angestrichen; man befestige sie an einander, und lege sie

so neben einander ins Wasser. Wären diese Farben divers refrangibel, so müfste das eine mehr, als das andere, nach dem Auge zu gebogen erscheinen, welches aber nicht geschieht, so dafs also an diesem einfachsten aller Versuche die Newtonsche Lehre scheitert.“[1])

Goethe läfst sich in gewohnter Weise hier nicht aufs Messen ein, und giebt weder die Länge der Wasserfläche, noch ihre Tiefe, noch die Höhe des Auges über derselben an, damit die Mathematik ja nicht prüfen könne, in wie weit denn dieser Einwurf, der auf den ersten Blick allerdings Gewicht zu haben scheint, begründet sei. Denn alles Prüfen durch diese Wissenschaft ist ihm unnöthig und überflüssig, da dies alles der Augenschein besser lehre. Es bleibt daher nichts anderes übrig, als jene Dimensionen so zu wählen, wie sie Goethe wahrscheinlich genommen haben wird. Die Länge der Wasserfläche sei (Fig. 24.) $AD = a$, ihre Tiefe $DC = b$, die Höhe AO des Auges O über derselben $= c$, R der Punkt der Wasserfläche, auf den ein Stral CR von einer beliebigen Farbe fallen mufs, damit er nach O hin gebrochen werde, das Brechungsverhältnifs dieses Strales aus Luft in Wasser sei n, und $DR = x$, folglich $RA = a - x$: so ist

$$\cos ARO : \cos DRC = n : 1, \text{ oder}$$

$$\frac{a - x}{\{c^2 + (a - x)^2\}^{\frac{1}{2}}} = \frac{nx}{(x^2 + b^2)^{\frac{1}{2}}},$$

und nach Wegschaffung der irrationalen Faktoren:

$$x^4 - 2ax^3 + \left\{a^2 + \frac{c^2n^2 - b^2}{n^2 - 1}\right\}x^2 + \frac{2ab^2x}{n^2 - 1} - \frac{a^2b^2}{n^2 - 1} = 0.$$

Aus dem Werthe von x, den diese Gleichung giebt, läfst sich $a - x$, hieraus in Verbindung mit c der Winkel ARO, und somit für die angenommene Tiefe b

1) Farbenl., Bd. 2., pag. 435.

die Erhebung eines jeden Strales, dem das Brechungsverhältnifs n entspricht, über die Wasserfläche berechnen. Ich will $a = 25$ Zoll, $b = 5$ Zoll, und $c = 1$ Zoll nehmen, so erhält die Gleichung zunächst für rothe Stralen, für welche Newton $n = \frac{108}{81}$ beim Uebergange aus der Luft in das Wasser fand, wenn man einer bequemeren Rechnung wegen a zur Einheit nimmt, also $b = 0{,}2$, und $c = 0{,}04$ setzt, folgende Gestalt:

$$x^4 - 2x^3 + 0{,}95223\, x^2 + 0{,}10285\, x - 0{,}05142 = 0,$$

woraus $x = 0{,}2260\ldots$, also $a - x = AR = 0{,}7740\ldots$, und

$$tang\, ARO = \frac{0{,}04}{0{,}7740} = tang\, 2^0\, 57'\, 30''.$$

Für die blauen Stralen ist $n = \frac{109}{81}$, daher für diese Art der Stralen:

$$x^4 - 2x^3 + 0{,}95425\, x^2 + 0{,}09866\, x - 0{,}04933 = 0,$$

woraus $x = 0{,}2214\ldots$, also $a - x = AB = 0{,}7786\ldots$, und

$$tang\, ABO = \frac{0{,}04}{0{,}7786} = tang\, 2^0\, 56'\, 27''.$$

Es beträgt also die Erhebung des äufsersten blauen Strales über den rothen nicht mehr, als etwa eine Minute, und es ist nicht allein ein so kleiner Winkel dem Auge durchaus unbemerkbar, sondern er würde auch, selbst wenn er gröfser wäre, um so weniger bemerkt werden können, weil die blaue Farbe dunkler ist, als die rothe, und ein schmaler blauer Streifen noch unsichtbar sein kann, während ein eben so schmaler rother schon wahrgenommen wird. Goethe, der überdies die Gesichtsstralen nicht einmal irgendwie fixirt zu haben scheint, würde daher nimmermehr behauptet haben, dafs durch einen Versuch, wie er ihn angestellt haben wird, die Newtonsche Theorie von Grund aus zerstört werde, wenn er nur jene leichte Rechnung

hätte durchführen wollen. Prevost wählte eine zweckmäſsigere Vorrichtung, um sich zu überzeugen, daſs die Erhebung der blauen Stralen über die rothen, wenn sie durch Wasser gebrochen werden, allerdings bemerkbar gemacht werden könne. [1])

1) Gilbert's Ann., Bd. 49., pag. 393. Nachdem Prevost mehrere andere Apparate, bei denen der Versuch nicht gelingen wollte, beschrieben hat, fährt er so fort:

„Ich gab es nun auf, die Abweichung der gebrochenen farbigen Stralen einer Art von denen der anderen Art zu messen, lieſs die Alhidaden fort, und machte den Apparat so einfach, als möglich, um bloſs die Verschiedenheit in der Brechung sichtlich zu erhalten."

„Dieser Apparat besteht aus einer, 15 Zoll langen und 1 Zoll weiten Glasröhre, welche so auf einem Fuſse steht, daſs sie sich beliebig neigen läſst. Sie ist ganz mit einer schwarzen Hülle überzogen, das untere zugeschmolzene Ende ausgenommen, welches Licht zu dem Gegenstande hinzulassen muſs, den man in das Innere der Röhre legt. Dieser Gegenstand besteht aus einem kleinen Streifen Papier, der seiner Länge nach halb roth, und halb blau ist, und den man auf den Boden der Röhre horizontal auf eine schwarze Unterlage legt. Die Röhre wurde dann voll Wasser gefüllt, und so weit geneigt, als dieses geschehen konnte, ohne daſs man aufhörte, das farbige Papier deutlich zu sehen; ihre Neigung betrug alsdann ungefähr 43 Grade. Ich erleuchtete nun das Papier ziemlich stark, und hielt durch einen kleinen Schirm das Licht von dem oberen Theile der Röhre ab, weil die Zurückwerfung an der Oberfläche des Wassers störend ist. Endlich näherte ich dieser das Auge geradezu, oder indem ich durch eine kleine Oeffnung hindurchsahe."

„Auf beide Arten erhielt ich die erwartete Wirkung. Die verschiedenfarbigen Hälften des Streifes zeigten sich gerade so, als wenn man sie durch ein sehr schwach brechendes Prisma betrachtet. Jede der beiden Hälften hatte mir immer ein Farben-Spektrum gezeigt; ein Umstand, welcher beweist, daſs die Farben, mit denen sie angemalt sind, eine Zerlegung bei der Brechung erlitten; bestimmt erschien aber das Blau höher, als das Roth. Wir sehen hier also die Farbenzerstreuung mittelst einer einzigen Brechung im Wasser unmittelbar dargestellt, welches der Endzweck der gegenwärtigen Untersuchung war."

Ueber den zweiten, von Rizzetti gleichfalls schon angefochtenen Versuch Newton's, durch welchen er die Vereinigungsweite der blauen Stralen näher an der Linse, als die der rothen fand, äufsert sich Goethe in folgender Art:

„Ehe wir mit der, aus dem vorigen Versuche uns schon bekannten doppelfarbigen Pappe weiter operiren, müssen wir sie und ihre Eigenschaften uns erst näher bekannt machen. Man bringe mennigrothes und sattblaues Papier neben einander, so wird jenes hell, dieses aber dunkel, und besonders bei Nacht dem Schwarzen fast ähnlich erscheinen. Wickelt man nun schwarze Fäden um beide, oder zieht man schwarze Linien darüber her, so ist offenbar, dafs man mit blofsem Auge die schwarzen Linien auf dem Hellrothen in ziemlicher Entfernung erkennen wird, wo man eben diese Linien auf dem blauen noch nicht erkennen kann. Man denke sich zwei Männer, den einen im scharlachrothen, den anderen im dunkelblauen Rocke, beide Kleider mit schwarzen Knöpfen; man lasse sie beide neben einander eine Strafse heran gegen den Beobachter kommen: so wird dieser die Knöpfe des rothen Rockes viel eher sehen, als die des blauen, und die beiden Personen müssen schon nahe sein, wenn beide Kleider mit ihren Knöpfen gleich deutlich dem Auge erscheinen sollen..... Blofs der Abstand des Hellen und Dunkelen ist also Ursache der mehrern oder wenigern Deutlichkeit." [1])

„Wir beschreiben die Vorrichtung, welche wir gemacht, um bei dem Versuche ganz sicher zu gehen. Auf einem horizontalgelegten Gestelle befindet sich an einem Ende Gelegenheit, das Vorbild (den Gegenstand) einzuschieben. Vor demselben in einer Vertiefung können die Lichter (zur Erleuchtung desselben) angebracht werden. Die Linse ist in einem vertikalen Brette befestigt, welches sich auf dem Gestelle hin und wieder bewegen läfst. Innerhalb des Gestelles ist ein beweglicher Rahmen, an

1) Farbenl., Bd. 1., pag. 387.

dessen Ende eine Tafel aufgerichtet ist, worauf die Abbildung vor sich geht. Auf diese Weise kann man die Linse gegen das Vorbild, oder gegen die Tafel, und die Tafel entweder gegen beide zu, oder von beiden abrücken, und die drei verschiedenen Theile, Vorbild, Linse und Tafel stehen vollkommen parallel gegen einander. Hat man den Punkt, der zur Beobachtung günstig ist, gefunden: so kann man durch eine Schraube den inneren Rahmen festhalten.“[1]).

„Eine andere Vorrichtung, die wir ersonnen haben, besteht in Folgendem. Wir nehmen einen Rahmen, der zu jenem Gestelle paſst, überziehen denselben mit Seidenpapier, worauf wir mit starker Tusche verschiedene Züge, Punkte und dergleichen kalligraphisch anbringen, und sodann den Grund mit feinem Oele durchsichtig machen. Diese Tafel kommt an die Stelle des Vorbildes. Das prismatische Bild wird von hinten darauf geworfen, die Linse ist nach dem Zimmer zu gerichtet, und in gehöriger Entfernung steht die zweite Tafel, worauf die Abbildung geschehen soll.“[2])

„Hat man für die weiſse Tafel die Stelle gefunden, wo sich das Abbild am deutlichsten zeigt, so kann man mit derselben allerdings noch etwas weniges vor- und rückwärts gehen, ohne der Deutlichkeit merklich Abbruch zu thun. Wenn man jedoch etwas zu weit vor-, oder zu weit zurückgeht, so nimmt die Deutlichkeit der Bilder ab, und wenn man sie unter sich vergleicht, geschieht es in der Maaſse, daſs die stark vom Grunde abstechenden sich länger, als die schwach abstechenden erhalten. So sieht man Weiſs auf Schwarz noch ziemlich deutlich, wenn Weiſs auf Grau undeutlich wird. Man sieht Schwarz auf Mennigroth noch einigermaaſsen, wenn Schwarz auf Indigblau schon verschwindet, und so verhält es sich mit den übrigen Farben durch alle Bedingungen unserer Vorbilder. Daſs es aber für das Abbild eine Stelle geben könne, wo das weniger Abstechende deutlich, das mehr

1) Farbenl., Bd. 1., pag. 392.
2) *Ibid.*, pag. 455.

Abstechende undeutlich sei: davon haben wir noch keine Spur entdecken können, und wir müssen also die Newtonsche Assertion blofs als eine beliebige, aus dem vorgefafsten Vorurtheile entsprungene, blofs mit den Augen des Geistes gesehene Erscheinung halten und angeben. Da der Apparat leicht ist, und die Versuche keine grossen Umstände erfordern, so sind Andere vielleicht glücklicher, etwas zu entdecken, was wenigstens zu des Beobachters Entschuldigung dienen könne." [1])

Es schien nöthig, alles dies aufzunehmen, theils um zu zeigen, in wie weit die Wiederholung jenes berühmten Versuches Goethe'n gelungen sei, theils auch, um die Beschreibung seiner beiden zweckmäfsigen Vorrichtungen nicht zu übergehen. Goethe giebt es zu, dafs man die weifse Tafel von der Stelle, wo das, auf dieselbe geworfene Abbild der schwarzen Streifen auf blauem Grunde deutlich erscheint, ein wenig verschieben könne, ohne dafs dadurch die Deutlichkeit des Abbildes der schwarzen Streifen auf rothem Grunde leidet; es soll dies indefs nicht in der verschiedenen Brechbarkeit der blauen und rothen Stralen, sondern vielmehr darin seinen Grund haben, dafs Schwarz auf rothem Grunde in derselben Entfernung noch deutlich ist, in der es auf dem, weniger abstechenden blauen Grunde schon undeutlich erscheint.

Es ist überall schwer, auf die Einwendungen Goethe's einzugehen, weil die Maafse, die ihnen zum Grunde liegen, nirgend angegeben werden. Gelang es ihm nicht, einen unverkennbaren Unterschied zwischen der Vereinigungsweite der blauen und rothen Stralen zu bemerken, so lag der Grund darin, dafs die Brennweite seiner Linse zu klein, und die Entfernung des

1) Farbenl., Bd. 1., pag. 397.

Vorbildes von derselben zu grofs war.[1]) Darum wählte denn auch Newton eine Linse, deren Brennweite über drei Fufs betrug, darum stellte er das Objekt in der Entfernung der doppelten Brennweite auf, damit das Bild, das alsdann in derselben Entfernung hinter der Linse lag, eben so grofs, wie der Gegenstand, und ein Fehler bei der Beobachtung möglichst vermieden wurde. Alle solche nothwendigen Vorsichtsmaafsregeln sind indefs Goethe'n nichts weiter, als „Advokatenstreiche, Taschenspielerkünste, Hokuspokusmacherei", und wie die schmähenden Ausdrücke weiter heifsen mögen, mit denen der „unredliche" Newton bei jeder Gelegenheit gemifshandelt wird. Dafs aber hier von keinem stärkeren Abstechen des Schwarzen auf rothem, als auf blauem Grunde die Rede sein könne, sondern dafs es lediglich auf eine möglichst scharfe Begrenzung der schwarzen Linien auf beiden Hintergründen ankomme, weifs ein jeder, der den Versuch auf die erforderliche Weise angestellt, und sich selbst von der Wahrheit des von Newton angegebenen Resultates überzeugt hat.

Eine einfache Vorrichtung will ich bei dieser Gelegenheit beschreiben, mittelst deren sich jener Newtonsche Versuch mit sicherem Erfolge wiederholen läfst. Es besteht dieselbe aus einem messingenen prismatischen Stabe, der auf einem Stative in vertikaler Richtung gedreht werden kann, und in Zolle und Zehn-

1) Denn wir haben oben (pag. 74.) die chromatische Längenabweichung für parallele Stralen $= \frac{2p}{55}$, und für nicht parallele

$$= \frac{(a+\alpha)\alpha}{27a} = \tfrac{1}{27}\left\{\alpha + \frac{\alpha^2}{a}\right\} = \tfrac{1}{27}\left\{\frac{ap}{a-p} + \frac{ap^2}{(a-p)^2}\right\}$$

$$= \tfrac{1}{27}\left\{1 + \frac{p}{a-p}\right\}\frac{ap}{a-p} = \tfrac{1}{27}\left\{1 + \frac{p}{a-p}\right\}\left\{p + \frac{p^2}{a} + \frac{p^3}{a^2} + \frac{p^4}{a^3} \cdots\cdots\right\}$$

gefunden.

tel-Zolle getheilt ist; einem Rahmen, dessen Fufs so durchbrochen wurde, dafs der Stab sich in denselben hineinschieben läfst; aus einer Linse von ziemlich grosser, und einem Okulare von kleiner Brennweite, welche beiden Gläser so in Messing gefafst sind, dafs die Füfse der Einfassung sich gleichfalls auf dem Stabe verschieben lassen, und durch Schrauben eben so, wie der Fufs des Rahmens, befestigt werden können. Es ist also diese Vorrichtung im Grunde nichts anderes, als ein astronomisches Fernglas ohne Röhre, und es besteht der Unterschied zwischen jener ersten, von Goethe angegebenen und dieser Einrichtung nur darin, dafs hier das Licht nicht blofs durch eine, sondern, um die Brechung gröfser zu machen, durch zwei Linsen geleitet, und dafs das Abbild nicht erst von einer weifsen Tafel, sondern unmittelbar von der Netzhaut des Auges selbst, das hinter das Okular gebracht werden mufs, aufgefangen wird.

Damit man sich überzeugen könne, dafs die Vereinigungsweiten der verschiedenen Farben verschieden sind, bedarf es hier, wo die Brechung bedeutender ist, mancher Vorkehrungen nicht, die bei einer einzigen Linse nöthig werden. Es ist hinreichend, auf eine schwarze Tafel eine rothe und eine blaue, oder auch mehrere gefärbte Linien dicht neben einander parallel zu ziehen, und die Tafel in den Rahmen so einzupassen, dafs jene Linien in der Gegend der Achse des Fernrohres liegen, damit kein Zweifel übrig bleibe, dafs jeder Punkt der blauen und der rothen Linie für zwei verschiedene Stellen des Okulars am deutlichsten erscheint; ja man kann selbst, statt jener Linien, einen rothen und einen blauen Wollenfaden neben einander auf die Tafel spannen, und findet auf gleiche Weise, dafs das Okular, nachdem die Stelle desselben, für

welche sich jedes Fäserchen des rothen Fadens am schärfsten zeigt, gefunden ist, dem Objektive genähert werden müsse, damit auch jedes Fäserchen des blauen Fadens in derselben Schärfe sichtbar sei. — So ist also jener entscheidende Versuch Newton's, auf den ich hernach noch einmal zurückkommen werde, von Goethe misverstanden worden.

In dem fünften Experimente des ersten Buches der „Optik" beschreibt Newton, wie wir wissen, die Aenderung, die das Spektrum, nachdem es durch ein horizontales Prisma aufwärts gebrochen wurde, dadurch erleidet, dafs es durch ein vertikal stehendes seitwärts gebrochen wird, um zu zeigen, dafs die längliche Gestalt des Sonnenbildes nicht in einer Eigenthümlichkeit des Glases ihren Grund habe. Denn wäre dies der Fall, so müfste das Spektrum durch das zweite Prisma eben so in die Breite gedehnt werden, wie es durch das erste in die Länge gezogen wird, es müfste die Gestalt eines Quadrates haben. Dies geschieht jedoch nicht, sondern das Bild erscheint länglich, wie durch das erste Prisma, und mit horizontalen Grenzen der Farben. Ueber diesen Versuch läfst sich nun Goethe in folgender Weise aus:

„Verrückt man subjektiv durch ein Prisma das Bild dergestalt, dafs es in die Höhe gehoben erscheint, so wird es in dieser Richtung gefärbt. Man sehe nun durch ein anderes Prisma, dafs das Bild im rechten Winkel nach der Seite gerückt erscheint, so wird es in dieser Richtung gefärbt sein. Man bringe beide Prismen nunmehr kreuzweise über einander, so mufs das Bild nach einem allgemeinen Gesetze sich in der Diagonale verrücken, und sich in dieser Richtung färben: denn es ist in einem, wie in dem anderen Falle ein werdendes, erst entstehendes Gebilde. Denn die Ränder und Säume entstehen blofs in der Linie des Verrückens. Jenes gebückte Bild Newton's aber ist keinesweges das aufgefangene erste, das nach der zwei-

ten Refraktion einen Reverenz macht, sondern ein ganz neues, das nunmehr in der ihm zugenöthigten Richtung gefärbt wird." [1])

Goethe hat also auch dieses Experiment Newton's nicht richtig verstanden. Denn soll die Erklärung mit einer bloſsen Diagonal-Wirkung beider Prismen erschöpft sein, so könnten ja die Grenzen des geneigten Bildes nicht horizontal bleiben, wie dies der Fall ist, sie müſsten vielmehr einen Winkel von 45° mit dem Horizonte bilden. Es bedarf daher keiner weiteren Widerlegung dieser Stelle. Was hier aber Goethe über die Farben des Spektrums sagt, will ich erst dann erörtern, wenn ich die Unhaltbarkeit seiner „Grundphänomene" dargethan habe, und jetzt nur noch seine Ansichten über die Unveränderlichkeit der prismatischen Farben, und über die Entstehung des Weissen aus einer Mischung derselben anführen.

In dem fünften Versuche des zweiten Theiles des ersten Buches der „Optik" erklärt Newton, daſs er, wenn jede der sieben Hauptfarben, möglichst von einander gesondert, durch eine runde Oeffnung hindurchgelassen, und einer zweiten Brechung unterworfen wurde, weder eine Zersetzung dieser Farben in andere, noch in dem von einer weiſsen Tafel aufgefangenen Bilde eine Abweichung von der Kreisgestalt habe bemerken können, und daſs er daher eine jede dieser Farben für homogen halten müsse. Goethe nennt Newton'n dieser Folgerung wegen einen „Kosacken-Hetmann", [2]) und erklärt diesen Versuch, so wie überhaupt alles, was Newton in der Optik gethan und gedacht hat, für eine „Spiegelfechterei",

1) Farbenl., Bd. 1., pag. 413.
2) *Ibid.*, pag. 553.

indem die Erfahrung aller Künstler lehre, dafs, wenn von Grundfarben die Rede sein soll, deren nur drei, Roth, Gelb und Blau anzunehmen sind, eine Behauptung, die, wie ich schon früher bemerkt habe, von Le Blond zuerst aufgestellt ist.

Es würde mit der verschiedenen Brechbarkeit des Lichtes durchaus nicht im Widerspruche stehen, wenn die Erfahrung Newton's und aller Physiker nach ihm es gelehrt hätte, dafs es keine Stelle in dem Spektrum giebt, die von gleichartigem Lichte erhellt ist; es würde sich hieraus blofs die Folgerung ergeben, dafs die unendlich vielen, an Farbe verschiedenen Sonnenbilder so über einander greifen, dafs eine Trennung derselben nicht möglich ist. Denn Newton selbst erklärt es wiederholentlich, dafs das Sonnenlicht aus Stralen bestehe, die auf unendlich verschiedene Weise an Refrangibilität verschieden sind.[1]) Auch nennt er die sieben, im Spektrum besonders hervortretenden Farben nicht einfache Grundfarben, deren Zahl vielmehr unendlich grofs sei, sondern nur Hauptfarben (*colores primarii*). So wenig also die verschiedene Refrangibilität durch eine Veränderlichkeit dieser Hauptfarben aufgehoben werden würde: so haben dessenungeachtet viele unbefangene Männer den Versuch Newton's wiederholt, und die Ueberzeugung gewonnen, dafs diese Farben, wenn man entweder die Sonnenbilder durch eine Linse koncentrirt, oder die Oeffnung, durch welche man jede Farbe einzeln hindurchläfst, möglichst weit von dem ersten Prisma aufstellt, oder, wenn dies nicht

1) So sagt er unter anderen in den *Opusc.*, tom. II, pag. 371.: „*Lux solis constat ex radiis, qui indefinitis refrangibilitatis gradibus discrepant. Radii, qui refrangibilitate differunt, postquam disjuncti sunt, discrepant coloribus, quos exhibent. Tot sunt simplices aut homogenei colores, quot refrangibilitatis gradus.*“

geschehen kann, die Brechung mehr-, als zweimal wiederholt, und immer nur der Mitte der Farbe durch kleine Oeffnungen den Durchgang gestattet, keine den Sinnen bemerkbare Aenderung erleiden; dafs aber allerdings farbige Säume, besonders beim schiefen Auffangen des Bildes sichtbar werden, sobald diese Bedingungen nicht erfüllt sind.

Selbst die Gründe, die Brewster'n geneigt machen, die Einfachheit der prismatischen Farben zu bezweifeln, können bis jetzt wenigstens nicht für zureichend gehalten werden. Als er durch ein blaues Smalte-Glas, das eben und polirt war, und dessen Dicke etwa $\frac{1}{20}$ Zoll betrug, ein glänzendes Spektrum betrachtete, das auf die gewöhnliche Weise durch ein Prisma auf eine weifse Ebene geworfen wurde, fand er, dafs dasselbe an mehreren Stellen mit schwarzen Streifen durchzogen, und die Farbe an diesen Stellen völlig absorbirt war; wurde aber die Dicke des Smalte-Glases etwas geringer genommen, so schien der orangefarbene Theil des Spektrums, und der zunächst ans Gelbe grenzende des grünen Raumes in gelber Farbe, und überhaupt die Färbung des ganzen Spektrums unregelmäfsig. Hieraus nun glaubt Brewster schliefsen zu müssen, dafs die rothen Stralen des Orange, und die blauen des Grün durch jenes Glas absorbirt werden, dafs folglich das prismatische Orange und Grün zusammengesetzte Farben sein. Das prismatische Violett aber für eine Mischung von Blau und Roth ansehen zu können, hält er demnach für unbedenklich.

Wenn indefs schon diese Erklärungsweise mancherlei Zweifel anregt, weil die Gesetze der Absorption des Lichtes viel zu wenig bekannt sind, um Folgerungen, die mit anderen Erfahrungen im Widerspruche stehen, aus ihnen ableiten zu können: so mufs

man noch viel bedenklicher werden gegen ein anderes Resultat, das Brewster durch eben jenes Smalte-Glas erhalten haben will. Wenn er nämlich das Roth des Spektrums zuerst ohne dies Glas, und gleich darauf durch dasselbe ansah: so schien es ihm, als ob das Roth im letzteren Falle ein anderes, als im ersteren wäre, und zwar ein solches, dem jede Beimischung von gelben Stralen fehlte. Da also das Roth sich auf der einen Seite bis zum Violett, und das Gelb auf der anderen bis zum Roth hinzuziehen scheint, das Blau aber gegen die glänzenden Farben Roth und Gelb zu dunkel ist, um es, besonders wenn es in geringer Menge diesen Farben beigemischt wird, bemerken zu können: so neigt sich Brewster zu der Meinung hin, dafs im Spektrum nur die Farben Roth, Gelb und Blau vorhanden sein dürften, und dafs sich dieselben durch die ganze Länge des Spektrums mit solchen Intensitäten ausbreiten, wie sie durch die Ordinaten der Kurve (Fig. 25.) *MRN* für die rothen, *MGN* für die gelben, und *MBN* für die blauen Stralen angedeutet sind.

Gesetzt aber auch, es hätte sich Brewster hier nicht getäuscht, und es würden seine Behauptungen in der Folge als wahr begründet werden: so ändert dies doch nichts in der Newtonschen Erklärung der Farbenerscheinungen, indem die blauen Stralen da, wo sie ihre höchste Intensität haben, und als solche allein das Auge afficiren, alsdann immer noch brechbarer, als die gelben, und diese wieder unter derselben Bedingung brechbarer, als die rothen bleiben. [1])

Gleichwohl scheint es keinem Zweifel zu unterliegen, dafs Le Blond Recht hat, wenn er behauptete,

1) Brewster im „Leben Newton's", pag. 32. Poggendorff's Ann., Bd. 23, pag. 435.

dafs die rothen, gelben und blauen Pigmente diejenigen sind, aus denen sich alle übrigen mischen lassen, dafs man daher in dieser Beziehung nur drei Grund-Pigmente anzunehmen habe.[1]) Hieraus aber die Folgerung ziehen zu wollen, dafs es deshalb auch nur drei einfache Bestandtheile des Sonnenlichtes geben könne, scheint bedenklich zu sein. Denn in der Annahme, dafs z. B. ein von Natur grünes Pigment oder auch das prismatische Grün, und eine Mischung von einem blauen und gelben Pigmente, oder auch von dem prismatischen Gelb und Blau denselben Eindruck aufs Auge machen können, und dafs dennoch diese Mischungen und jene Farben nicht identisch sind, liegt nichts Ungereimtes. Wir wissen, dafs zwei mechanische Kräfte von verschiedener Richtung dieselbe Wirkung, wie eine einzige, nach ihrer Diagonale gerichtete Kraft hervorbringen; Niemand aber hat deshalb jemals behauptet, dafs jene beiden Kräfte identisch mit der Diagonal-Kraft sind. Warum sollte es daher nicht auch möglich sein, dafs eine Mischung von prismatischem Gelb und Blau dieselbe Wirkung, wie prismatisches Grün aufs Auge haben könne, ohne dafs man deshalb dieses und jene Mischung für identisch halten darf? [2])

1) Dafs es auch Newton'n nicht entgangen war, dafs man schon aus drei Pigmenten, aus Roth, Gelb und Blau alle übrigen durch Mischung erhalten könne, geht aus *Opt.*, lib. I, pars 2. exper. 15. hervor, wo er sagt: „*Cum minii portione una viride aeris, quintupla portione commixtum, exhibuit colorem quendam murinum. Etenim horum duorum colorum uterque ita ex aliis ante erat compositus, ut in ambobus jam colorum inesset mixtura universorum: minium autem, propter colorem suum luminosiorem et pleniorem minore portione, quam viride aeris adhibebam.*"

2) Pfaff in der angeführten Schrift, pag. 158.

So viel wenigstens folgt hieraus, dafs das Spektrum nicht die Farbenerscheinung ist, aus der sich ein sicherer Schlufs auf die Zahl der einfachen Grundfarben, welche im Sonnenlichte enthalten sind, machen läfst; weshalb denn auch Newton mit der Vorsicht, die ihn überall auszeichnet, sagt, dafs er die Homogeneität der sieben Hauptfarben nur in so weit, als er sich auf seine Sinne verlassen zu können glaube, behaupte. Die zwölfte Tafel der Goetheschen Farbenlehre, der die Inschrift „Newtonsche Mucken und homogene Lichter“ gegeben ist, bedarf daher keiner weiteren Erörterung. Nicht zufrieden damit, dafs die schlechten Pigmente, mit denen diese Tafel bemalt ist, nichts weniger, als prismatische Farben sind, hat Goethe auch noch die Mücken- und Karten-Zeichen, mit denen er sie übersäete, mit starken dunkelen Grenzen umgeben lassen, damit, sobald man sie durch ein Prisma betrachtet, die aus dem helleren Hintergrunde entstehenden Farben desto merklicher werden, und die diverse Refrangibilität einen desto glänzenderen Triumph davontragen könne.

Es ist hier der Ort, in die Versuche einzugehen, die man seit der frühesten Zeit gemacht hat, alle Farben-Nuancen, deren der Maler bedarf, auf wenige Grund-Pigmente zurückzuführen, damit sich auf diese Weise ergebe, in wie weit Le Blond's Behauptung, dafs alle diese Nuancen aus Roth, Gelb und Blau gemischt werden können, begründet sei.

Ueberreste von der Aegyptischen Malerei sind uns theils an den Wänden einiger Gruftgewölbe, theils auf der Leinewand, in welche die Mumien gewickelt sind, oder auf den Deckeln der Särge, theils auch auf den Papyrus-Rollen, die man neben die Mumien gelegt hatte, erhalten worden. In allen diesen Gemälden

bemerkt man aber nur die Farben Roth, Gelb, Grün und Blau, zu denen in einigen noch Schwarz kommt, die immer unvermischt sind, und denen Weifs zum Grunde und Schwarz zu Umrissen gegeben ist.[1])

Von den Griechischen Gemälden, über deren Trefflichkeit die Römischen Schriftsteller einstimmig so günstig urtheilen, dafs ihnen dagegen die Malerkunst in ihrem eigenen Vaterlande als in tiefem Verfalle begriffen erscheint, ist zwar nichts bis auf unsere Zeit gekommen; da sich jedoch die Römischen Künstler nach Griechischen Mustern bildeten, so läfst sich ein ziemlich sicherer Schlufs von den, unter den Römern gebräuchlichen Farben zugleich auf die der Griechen machen.

Von der Römischen Malerei haben sich aber nicht blofs in den Ruinen mehrerer Palläste Roms und in Pompeji einige Ueberreste erhalten, sondern besonders auch in den Fresko-Gemälden, die man an den Wänden und Decken der, unter dem Esquilinischen Hügel liegenden Thermen des Titus gefunden hat, und in den sogenannten Bädern der Livia. In den Thermen des Titus war es, wo man die Aldobrandinische Hochzeit[2]) fand, das berühmteste und trefflichste

1) Winckelmann's Werke, herausg. von Heinrich Meyer und Johann Schulze. Dresden, 1809. Th. III, pag. 142. „*Panthéon Egyptien*“ *par Champollion le jeune. Paris*, 1824.

2) Dies Gemälde ist bekanntlich deshalb so genannt worden, weil es der Kardinal Aldobrandini, als man es im Jahre 1606., wie ein Augenzeuge, der Maler Zuccaro berichtet, in dem unterirdischen Gemäuer des Esquilinischen Hügels gefunden hatte, in einer Länge von 8½ Fufs und einer Höhe von 4 Fufs aus der Mauer aussägen, und in eine Wand seiner Villa unter Glas einsetzen liefs. Die Figuren in diesem Bilde haben 20 bis 21 Zoll Höhe. Die Aldobrandinische Villa ist seitdem in den Besitz mehrerer anderen Familien übergegangen, und war, als Davy die Farben jenes Gemäldes untersuchte, das Eigenthum eines gewissen Nelli.

Gemälde, das uns die, alles umwandelnde Zeit aus dem Alterthume übrig gelassen hat.

Von den, zu diesen Gemälden gebrauchten Pigmenten haben wir durch Davy, der sie in so geringer Menge und an solchen Stellen abkratzte, dafs jene kostbaren Ueberreste dadurch nicht beschädigt wurden, und sie während seiner Anwesenheit in Rom einer chemischen Analyse unterwarf, Kenntnifs erhalten, die überdies durch mehrere Stellen in den Schriften des Vitruv, Plinius und Dioscorides erweitert werden kann. Was aber besonders die chemischen Untersuchungen Davy's erleichterte, war der glückliche Umstand, dafs man um das Jahr 1813. in einem Zimmer der Bäder des Titus ein thönernes Gefäfs mit verschiedenen Farbestoffen gefunden hatte, und diese daher auch in gröfserer Menge zur Analyse verbraucht werden konnten.[1])

In diesem Gefäfse waren nebst anderen Pigmenten auch rothe enthalten, ein helles und ein dunkeles, die mit Thon und Kalk gemengt waren. Die Prüfung mit Schwefel- und Salzsäure liefs Davy'n in dem hellen Roth Mennige (*cerussa usta*,[2]) σανδαράχη[3])), und

1) *Philos. Transact. for* 1815., und Gilbert's Ann. 1816., Bd. 52., pag. 1.

2) *Plinii* „*Historia naturalis*", lib. XXXV, cap. 19. 20. *Est et color tertius e candidis cerussae* (Bleiweifs), *cuius rationem in plumbi metallis diximus. Fuit et terra per se in Theodori fundo inventa Smyrnae, qua veteres ad navium picturas utebantur. Nunc omnis ex plumbo et aceto fit, ut diximus. Usta casu reperta incendio Piraeei, cerussa in orcis cremata. Hac primus usus est Nicias. Optima nunc Asiatica habetur, quae et purpurea appellatur. Fit et Romae cremato sile marmoroso, et restincto aceto. Sine usta non fiunt umbrae.*

3) *Dioscorides* „Περὶ ὕλης ἰατρικῆς." *Edid. Curtius Sprengel. Lips.*, 1829., lib. V, cap. 121. Es heifst hier: „Σανδαράχη, κινναβαρίζουσα τὴν χρόαν," also ein Pigment, dessen Farbe

in dem dunkelen einen Eisen-Ocher erkennen. Die an den Wänden befindlichen Fresco-Gemälde hatten indefs unter den rothen Farben nicht blofs diese beiden Arten, sondern auch noch eine hellere. Sie bildete unter anderen den Grund der Nische, in der die Gruppe des Laokoon stand, die im Jahre 1506. gefunden, und vom Pabste Julius II. im Belvedere aufgestellt wurde, wohin sie jetzt wieder bekanntlich von Paris zurückgebracht ist. Bei der Analyse erwies sich dieser Farbestoff als Zinnober (*minium*,[1]) *κιννάβαρι*[2])); denn wurde er mit Eisenfeilc erhitzt, so bildete sich regulinisches Quecksilber. Da die Römer einen hohen Werth auf dies Pigment legten, so läfst sich kaum zweifeln, dafs die Zimmer, in denen man es vorzugsweise angewandt findet, zum Gebrauche des Kaisers selbst bestimmt waren. Andere rothe Pigmente konnte Davy in den Thermen des Titus nicht entdecken, ungeachtet Plinius deren viel mehrere, als gebräuchlich bei den Malern anführt,[3]) wie die Erde von Si-

sich der des Zinnobers nähert. Vitruv erwähnt dieses Pigmentes „*De architectura*", lib. VII, cap. 12.

1) *Plinius*, lib. XXXIII, cap. 36., 37., 38. *Invenitur in argentariis metallis minium quoque, et nunc inter pigmenta magnae auctoritatis, et quondam apud Romanos non solum maximae, sed etiam sacrae. Enumerat auctores Verrius, quibus credere sit necesse, Jovis ipsius simulacri faciem diebus festis minio illini solitam .... Theophrastus XC annis ante Praxibulum, Atheniensium magistratum (quod tempus exit in urbis nostrae CCXLIX annum), tradit inventum minium a Callia Atheniense, initio sperante, aurum posse excoqui arena rubente in metallis argenti (vivi): hanc fuisse originem ejus.... Milton vocant Graeci (scil. rubricam): minium quidam cinnabari.* Auch Vitruv spricht (lib. VII, cap. 9.) von dem *Minium* als einem sehr kostbaren Farbestoffe, der aus Quecksilber bereitet wird.

2) *Dioscorides*, lib. V, cap. 109.

3) Lib. XXXV, cap. 13. sqq.

nope, die Lemnische Erde (*rubrica*, die nur besiegelt verkauft wurde, und deshalb auch *sphragis* hiefs), den Afrikanischen Ocher, Syricum,[1]) Sandyx,[2]) Purpurissum[3]) und andere.

Dafs die Purpurfarbe (*ostrum*, πορφύρα), welche aus dem Safte einer Muschel bereitet wird, die man an den Küsten des Mittelländischen Meeres, besonders aber in der Gegend von Tyrus in grofser Menge findet, bei den Alten in sehr hohem Ansehen stand, ist bekannt.[4]) Nichtsdestoweniger konnte Davy diesen Farbestoff selbst in der Aldobrandinischen Hochzeit, wo die rothe Farbe in dem Kleide der Braut ein schwacher Purpur zu sein scheint, nicht finden, sondern er ist vielmehr geneigt, dies Purpurroth für eine Mischung von rothem Ocher und Kupferblau zu halten.

Eben jenes Gefäfs enthielt auch mehrere Tinten von Gelb, die Davy in den am wenigsten geschmückten, und daher wahrscheinlich den Bedienten des Kaisers angewiesenen Zimmern wiederfand, und von denen sich zwei als Mischungen von gelbem Eiser-Ocher (*sil*,[5]) ὤχρα[6])) mit verschiedenen Mengen Kreide, die dritte aber als eine Mischung von Mennige und gelbem Ocher auswiesen, dessen beste Arten, wie Plinius be-

1) Lib. XXXV, cap. 24.

2) Lib. XXXV, cap. 23. *Sandaracha si torreatur, aequa parte rubrica admixta, sandycem facit.* Der Sandyx ist also eine Mischung von Sandarach und rothem Ocher.

3) Lib. XXXV, cap. 26. Dies Pigment ist eine Mischung von Purpur mit Silber-Kreide (*creta argentaria*), wahrscheinlich einem Thone, mit dem man das Silber polirte.

4) Vitruv redet lib. VII, cap. 13. von diesem Pigmente, und sagt unter anderen, dafs es um so dunkeler und weniger roth sei, je nördlicher die Gegenden sind, aus denen die Muscheln genommen werden.

5) Plinius, lib. XXXIII, cap. 56. Vitruv, lib. VII, cap. 7.

6) Dioscorides, lib. V, cap. 108.

richtet, die Römer von Athen bezogen. Aufser dem Ocher waren noch zwei andere gelbe Pigmente bei den Alten in allgemeinem Gebrauche, das Auripigment (Operment, *arsenicum*, *ἀρσενικὸν*[1])), ein Schwefel-Arsenik, von dem Vitruv erzählt,[2]) dafs er in Pontus gediegen gefunden werde, und der gelbe Sandarach, den man nach Plinius[3]) in Gold- und Silbergruben fand.

In dem Gefäfse befand sich auch ein blaues Pigment, dasselbe, welches man zu den Wandgemälden in mehreren Zimmern, und zu der Aldobrandinischen Hochzeit gebraucht hatte. Die chemische Analyse zeigte in ihm eben die Bestandtheile, die Vitruv, der diesen Farbestoff *Caeruleum* nennt, angiebt,[4]) nämlich Sand, kohlensaures Natrum (*flos nitri*[5])) und Kupferfeile; ja es gelang Davy'n sogar, das Verhältnifs, in dem diese Bestandtheile zu mischen sind, zu ermitteln. Wenn er dem Gewichte nach 15 Theile kohlensaures Natrum, 20 Theile gepulverten Sand, und 3 Theile Kupferfeile zwei Stunden hindurch stark erhitzte, so erhielt er eine schmelzbare blaue Fritte, die gepulvert dasselbe schöne Himmelblau gab, das nun schon siebzehn Jahrhunderte hindurch in jenen unterirdischen Gemächern der Zerstörung getrotzt hat. Vitruv,[6]) Plinius und Dioscorides[7]) sprechen noch

1) Dioscorides, lib. V, cap. 120.
2) Lib. VII, cap. 7.
3) Lib. XXXIV, cap. 55.
4) Lib. VII, cap. 11. Er sagt hier, dafs ein gewisser Vestorius das Geheimnifs der Fabrikation dieses blauen Farbestoffes aus Alexandrien nach Puzzuoli verpflanzt habe. Dasselbe erzählt Plinius, lib. XXXIII, cap. 57.
5) Unter dem *Nitrum* der Alten hat man also kohlensaures Natrum zu verstehen.
6) Lib. VII, cap. 14.
7) Lib. V, cap. 107.

von einem aus Indien kommenden Blau, das nach dem Berichte des Plinius verbrennlich, und daher ohne Zweifel eine Art Indigo war.[1]) Ein unächtes Blau dieser Art könne man bereiten, sagt Vitruv, wenn man das Glas, welches die Griechen ὕαλος[2]) nennen, pulvere, und es mit *Creta selinusia* oder *Creta annularia* menge. Diese *Creta annularia* aber war Kreide, mit gläsernen Gemmen gemischt, wie sie in den Ringen gewöhnlicher Leute[3]) vorzukommen pflegten. Plinius deutet auch noch, in freilich sehr unklaren Worten, auf ein Blau hin, das man aus einem Armenischen

1) Lib. XXXV, cap. 27. *Probatur carbone. Reddit enim, quod sincerum est, flammam excellentis purpurae, et, dum fumat, odorem maris.* Da sich nach allem diesen ein hohes Alter der blauen Pigmente kaum bezweifeln läfst, so wird dadurch folgende Stelle (lib. XXXV, cap. 32.) im Plinius: „*Quatuor coloribus solis immortalia illa opera fecere: ex albis Melino, ex silaceis Attico, ex rubris Sinopide Pontica, ex nigris Atramento, Apelles, Echion, Melanthius, Nicomachus, clarissimi pictores, quum tabulae eorum singulae oppidorum venirent opibus*“ wenig glaubhaft; es wäre denn, dafs man unter *Atramentum* auch ein dunkeles Blau zu verstehen hätte. Plinius scheint, als er jene Nachricht niederschrieb, folgende Stelle (*Brutus*, cap. 18.) aus dem Cicero: „*Similis in pictura ratio est, in qua Zeuxim et Polygnotum et Timantem et eorum, qui non sunt usi plus, quam quatuor coloribus, formas et lineamenta laudamus; et in Echione, Nicomacho, Protogene, Apelle jam perfecta sunt omnia*“ vor Augen gehabt zu haben, aus welcher aber hervorgeht, dafs wenigstens Echion, Nicomachus und Apelles sich nicht blofs auf die sogenannte Tetrachromen-Malerei beschränkt haben.

2) Da Davy in mehreren, in jenen Ruinen gefundenen Glasstücken Kobalt entdeckte, so hat seine Meinung, dafs unter dem ὕαλος der Griechen ein, durch Kobalt-Oxyd blau gefärbtes Glas zu verstehen sei, das also unserer Smalte ähnlich war, allerdings viel für sich.

3) *Plinius*, lib. XXXV, cap. 30. *Creta, admixtis vitreis gemmis, ex vulgi annulis.*

Steine bereitet habe,[1]) wahrscheinlich dem *Lapis Lazuli*.

Die grünen Pigmente, die in den Bädern des Titus, in denen der Livia und in der Aldobrandinischen Hochzeit vorkommen, enthalten alle, wie sich Davy überzeugte, kohlensaures Kupfer. Auch in dem erwähnten Gefäfse fanden sich drei Arten Grün vor, von denen aber nur die eine aus kohlensaurem Kupfer, mit Kreide vermengt, bestand; die andere war die gemeine Veroneser Grün-Erde, und die dritte eine Mischung von einem grünen Kupfer-Oxyde mit einer blauen Kupfer-Fritte. Grünspan (*aerugo*) konnte Davy unter diesen Farbestoffen nicht entdecken, obgleich aus dem Plinius[2]) erhellt, dafs dies Pigment bei den Alten allgemein im Gebrauche gewesen sei. Dieser Schriftsteller,[3]) so wie Vitruv[4]) und Dioscorides,[5]) nennen die grünen Kupfer-Verbindungen *Chrysocollae*. Ein wohlfeiles, und dabei doch lebhaft grünes Pigment bereiteten die Maler, indem sie, wie Vitruv berichtet, *Caeruleum* mit dem Kraute *Luteum* zusammenrieben.[6])

Die schwarzen Pigmente, die sich in jenen Gemälden, und in den Ruinen bei der *Porta del Popolo*

1) Lib. XXXV, cap. 27. *Armenia mittit, quod ejus nomine appellatur. Lapis est hic quoque chrysocollae modo infectus, optimusque est, qui maxime vicinus est, communicato colore cum caeruleo.* Auch Vitruv redet lib. VII, cap. 5. von einem Farbestoffe, den er *Armenium* nennt.

2) Lib. XXXIV, cap. 26. *Aeruginis quoque magnus usus.* Vitruv, lib. VII, cap. 12.

3) Lib. XXXIII, cap. 26.

4) Lib. VII, cap. 5.

5) Lib. V, cap. 104.

6) Lib. VII, cap. 14. *Qui non possunt chrysocolla propter caritatem uti, herba, quae luteum appellatur, caeruleum inficiunt, et utuntur viridissimo colore.*

fanden, schienen reine Kohle zu sein. Von der schwarzen Erde, die man nach Plinius[1]) gediegen fand, oder von dem Schwarz, das aus einer schwefelgelben Erde bereitet wurde, entdeckte Davy dort eben so wenig etwas, wie von dem Elfenbein-Schwarz, von dem Plinius sagt, dafs es Apelles erfunden habe. In jenem oft erwähnten Gefäfse waren keine schwarzen Pigmente, wohl aber zwei Arten von braunem Ocher, und eine dritte Art von Braun, die aufser Eisen-Oxyd noch Mangan-Oxyd zu enthalten schien. Den braunen Ocher, den Plinius *Cicerculum* nennt,[2]) bezogen die Römer aus Afrika.

In dem Gefäfse fand sich endlich auch ein weisser Farbestoff vor, der sehr feine Kreide zu sein schien, von welcher Art auch alle weifsen Tinten in jenen Gemälden waren. Als die gebräuchlichsten weifsen Pigmente nennt Plinius:[3]) *Cerussa* (Bleiweifs);[4]) *Paraetonium*, das bei der Stadt dieses Namens ge-

1) Lib. XXXV, cap. 25. *Atramentum quoque inter factitios erit, quanquam est et terra geminae originis. Aut enim salsuginis modo emanat, aut terra ipsa sulphurei coloris ad hoc probatur..... Sunt, qui et vini faecem siccatam excoquant, affirmantque, si ex bono vino faex fuerit, Indici speciem id atramentum praebere..... Apelles commentus est ex ebore combusto facere, quod elephantinum vocavit.* Vitruv beschreibt lib. VII, cap. 10. die Bereitung des *Atramentum.* In eine Kammer mit glatten marmornen Wänden habe man den Zug eines Ofens, in den Harz gelegt war, geleitet. Der Rufs dieses Harzes, der sich an die Wände der Kammer ansetzte, sei dann entweder, mit Gummi vermischt zur Tinte (*atramentum librarium*), oder mit Leim gemengt zur Malerei benutzt worden. Ein schlechteres Pigment dieser Art habe man aus den Kohlen der Kiensplitter, die man in einem Mörser mit Leim rieb, gewonnen.

2) Lib. XXXV, cap. 13.

3) Lib. XXXV, cap. 18. sqq.

4) Vitruv, lib. VII, cap. 12. Dioscorides, lib. V, cap. 103. Beide sagen, dafs dies Pigment aus Essig und Blei bereitet werde.

funden wurde; *Melinum* von der Insel Melos, und *Eretria* von der Stadt dieses Namens auf der Insel Euböa.

Aus diesen sieben Pigmenten: Weifs, Schwarz, Braun, Roth, Gelb, Grün und Blau, scheinen also die Griechischen und Römischen Maler alle Farben-Uebergänge, deren sie bedurften, zusammengesetzt zu haben. [1]) Dafs drei Pigmente schon ausreichend sein, deuten die genannten Schriftsteller auch nicht im entferntesten an.

Ueberhaupt scheint vor Leonardo da Vinci Niemand daran gedacht zu haben, dafs es möglich sei, aus gewissen Grundpigmenten alle übrigen zu mischen. Nur beiläufig deutet er aber die Regeln an, die er hierbei befolgt wissen will, und in so unverständlicher Weise, dafs man ihren Sinn kaum enträthseln kann. Wenn auch Schwarz und Weifs, sagt er, eigentlich nicht Farben genannt werden könnten, weil das eine nur Abwesenheit des Lichtes, das andere aber das Licht selbst sei, so wolle er sie doch, ihrer ausgebreiteten Anwendung wegen, zu den einfachen Farben zählen, von denen es alsdann folgende sechs gebe: Weifs, Gelb, Grün, Roth, Blau, Schwarz. Diese müsse man, die eine mit der anderen, dann zwei mit

1) Plinius theilt (lib. XXXV, cap. 12.) die Pigmente in lebhafte (*floridi*), und matte (*austeri*) ein. Zu jenen, die der Besteller des Gemäldes dem Maler liefern mufste (*quos dominus pingenti praestat*), rechnet er: *Minium, Armenium, Cinnabaris, Chrysocolla, Indicum, Purpurissum.* Er unterscheidet ferner natürliche (*qui nascuntur*), und künstliche Pigmente (*qui fiunt, factitii*). Zu den natürlichen zählt er: *Sinopis, Rubrica, Paraetonium, Melinum, Eretria, Auripigmentum;* und zu den künstlichen alle Metall-Präparate, die oben angeführt sind, und überdies die schlechteren Pigmente: *Ochra, Cerussa usta, Sandaracha, Sandyx, Syricum, Atramentum.*

zweien, drei mit dreien, vier mit vieren u. s. w. verbinden; hierauf zu solchen zwei vierfachen Farben noch drei, zu diesen dreien noch andere drei u. s. w. hinzusetzen, wenn man alle Farben-Uebergänge, die das Auge zu unterscheiden im Stande ist, bestimmen wolle. [1])

Die von Newton angegebene Regel, nach der man die Farbe einer Mischung aus der ihrer Bestandtheile berechnen könne, kennen wir schon als eine solche, die einen mehr theoretischen, als praktischen Werth hat.

Dafs Le Blond, Du Fay und Castel beinahe gleichzeitig die Lehre von den drei Grundfarben zu begründen suchten, ist gleichfalls schon bemerkt worden. So entschieden der letztere sich auch gegen die Einfachheit der sieben prismatischen Hauptfarben erklären zu müssen glaubte, so nahm er doch die von Newton entdeckte Analogie zwischen den Farben und Tönen an. Castel wollte diese Uebereinstimmung selbst dazu benutzen, um durch einen passenden Wechsel von Farben einen eben so angenehmen Eindruck

1) Man sehe „Lambert's Beschreibung einer mit dem Calauschen Wachse ausgemalten Farben-Pyramide, wo die Mischung jeder Farbe aus Weifs und drei Grundfarben dargelegt wird". Berlin, 1772. 4to. pag. 17. Offenbar dachte Leonardo da Vinci an ein Verfahren, wie es die Kombinations-Rechnung befolgt, die freilich damals noch unbearbeitet war. Vielleicht wollte er sagen, dafs es bei sechs einfachen Farben nicht mehr, als $\frac{6.5}{1.2} = 15$ Mischungen von zwei; $\frac{6.5.4}{1.2.3} = 20$ Mischungen von drei; $\frac{6.5.4.3}{1.2.3.4} = 15$ von vier; $\frac{6.5.4.3.2}{1.2.3.4.5} = 6$ von fünf, und 1 von sechs Farben, im Ganzen also nicht mehr, als $15 + 20 + 15 + 6 + 1 = 57$ Mischungen, und selbst, wenn man die einfachen Farben hinzunimmt, nicht mehr, als 63 Farben gebe.

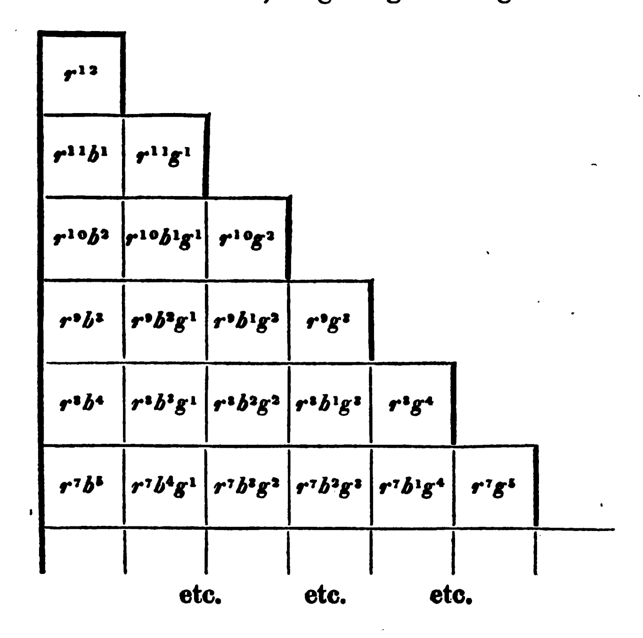
aufs Auge zu machen, wie ihn harmonische Töne aufs Ohr hervorbringen, wie er dies bei seinem Vorschlage zu einem Farben-Klavier (*clavecin oculaire*) thut.[1]) Dafs derselbe unausgeführt bleiben mufste, liegt in der Natur der Sache.

Der erste, der die Anzahl der Farben, die das Auge unterscheiden kann, annähernd zu bestimmen, und alle Farben-Uebergänge, so wie sie aus dem Roth durch alle erkennbaren Mittelstufen ins Gelb, aus diesem ins Blau, und aus diesem wieder ins Roth übergehen, anzugeben suchte, ist der als Astronom bekannte Tobias Mayer,[2]) der hierbei gleichfalls von drei Grundfarben, Roth, Gelb und Blau ausgeht, die er mit den Anfangsbuchstaben *r*, *g*, *b* bezeichnet. Da die Erfahrung lehre, dafs das Auge für geringe Unterschiede in den Mischungen unempfänglich ist, und dafs z. B., wenn man unter eine gewisse Menge Gelb nur den dreifsigsten Theil Blau nehmen wollte, die dadurch entstandene grünliche Farbe von dem reinen Gelb nicht zu unterscheiden sein würde, das Verhältnifs der Mischungen, wenn sie deutlich erkennbar sein sollen, folglich nur durch kleine Zahlen ausgedrückt werden dürfe; so blieb Mayer bei der Zahl 12 stehen, vermischte also entweder 11 Theile Roth mit einem Theile Blau oder Gelb, oder 10 Theile Roth mit 2 Theilen Blau oder Gelb, oder auch mit einem Theile Blau und einem Theile Gelb u. s. w. Hier kam es auf eine möglichst kurze, dabei aber leicht verständliche Bezeichnung dieser Mischungen an, und Mayer wählte sie so, dafs er

1) Das *Clavecin oculaire* ist von dem Musiker Tellemann beschrieben in Castel's „*Optique des couleurs*", pag. 473. Ferner in den *Mém. de Trevoux*. Paris, 1735. 8vo. pag. 1444., und an mehreren anderen Stellen.

2) *De affinitate colorum. Opera inedit.* 1775.

die Zahlen, die eigentlich Koefficienten von r oder g oder b sind, oben rechts neben diese Buchstaben schrieb, sie aber zum Unterschiede von den, eben so geschriebenen Exponenten Partienten nannte. Statt also die Mischung von 7 Theilen Roth mit 2 Theilen Blau und 3 Theilen Gelb mit $7r + 2b + 3g$ zu bezeichnen, setzt er dafür, mit Uebergehung der Pluszeichen, $r^7 b^2 g^3$. Dafs aber, wenn man die Mischungstheile nach Zwölfteln rechnet, mit den Grundpigmenten zusammen, die man alsdann r^{12}, g^{12} und b^{12} nennen müfste, und die bei Mayer Zinnober, Königsgelb und Bergblau sind, nicht mehr, als 91 Farben herauskommen, und dafs man diese in Gestalt eines Dreieckes schreiben könne, zeigt folgende Figur:



In dieser Figur, die unter dem Namen des Mayerschen Farben-Dreieckes bekannt ist, wächst also

jede horizontale Reihe um eine Farbe, und man findet daher die Anzahl aller, wenn man die Summe der arithmetischen Progression 1, 2, 3, ... 13 nimmt, die = $\frac{13}{2}(1+13)=91$ ist. Mayer zieht diese 91 Farben noch durch einen Zusatz von 1, 2, 3 oder 4 Theilen Weifs auf der einen Seite ins Helle, und durch einen Zusatz von 1, 2, 3 oder 4 Theilen Schwarz auf der anderen ins Dunkele, wodurch aufs neue 364 hellere und eben so viele dunklere entstehen, so dafs also die Zahl aller unterscheidbaren Farben $91+2 \,.\, 364=819$ sein würde.

Mayer hatte auf diese Weise die Möglichkeit, die Anzahl der Farben zu berechnen, allerdings nachgewiesen; alle 91 Mischungen aber nicht wirklich ausgeführt. Dies versuchte erst Lambert, indem er Zinnober, Gummigutt und Lackmus zum Grunde legte; er fand aber weder die Lebhaftigkeit und den Glanz der Farben, noch die Mannigfaltigkeit ihrer Uebergänge so grofs, wie dies alles die Kunst der Maler bereits kannte. Lambert sahe sich daher um so mehr veranlafst, die Aufgabe, die Mayer sich gestellt hatte, in einer anderen Weise zu lösen, da der Berliner Hofmaler Calau gerade damals in einem, zum Anmachen der Farben sehr tauglichen Wachse, das er aus Amerikanischen Pflanzen gewonnen hatte, und das sich im Wasser auflöste, das Punische Wachs der Alten wieder gefunden haben wollte. [1]) Nicht aber

1) Plinius beschreibt die Bereitung dieses Wachses (lib. XXI, cap. 49.) in folgender Weise: „*Punica cera fit hoc modo. Ventilatur sub divo saepius cera fulva. Deinde fervet in aqua marina, ex alto petita, addito nitro. Inde lingulis hauriunt florem, id est candidissima quaeque, transfunduntque in vas, quod exiguum frigidae* (*cerae*) *habeat. Et rursus marina decoquunt separatim, deinde vas ipsum refrigerant. Et cum haec ter fecere, juncea crate sub dio siccant sole lunaque: haec enim can-*

blofs zum Anmachen der Farben bediente sich Calau dieses Wachses, das er selbst Eleodorisches nennt, dessen wahre Beschaffenheit aber, wenigstens in der Lambertschen Schrift[1]) nicht angegeben wird: sondern er überzog auch Tafeln mit demselben, und grub dann mit einem Griffel die Pigmente ein. Als die tauglichsten Grundpigmente für dieses Wachs erwiesen sich der dunklere Karmin, Gummigutt und das dunklere Berlinerblau.

Als Lambert die Mischungen nach Maafstheilen machte, wie dies Mayer gewollt hatte, überzeugte er sich, dafs die Uebergänge aus dem Roth ins Gelb, aus diesem ins Blau, und aus diesem wieder ins Roth nicht in der erforderlichen Reinheit zum Vorschein kamen. Befriedigender fielen die Versuche aus, als er Gewichtstheile nahm, und zugleich die Stärke eines jeden Grundpigmentes berücksichtigte. Denn da er gefunden hatte, dafs 3 Gran Berlinerblau und erst 12 Gran Gummigutt ein reines Grün, ferner 2 Gran Karmin und erst 12 Gran Gummigutt ein reines Orange gaben: so liefs sich hieraus folgern, dafs 2 Gran Kar-

dorem facit. Sol siccat, et, ne liquefaciat, protegunt tenui linteo. Candidissima vero fit post insolationem etiamnum recocta." Lib. XXXIII, cap. 40. und lib. XXXV, cap. 41. sagt Plinius, dafs die Maler, um ihren Werken Glanz und Dauerhaftigkeit zu geben, entweder die Pigmente mit diesem Wachse mengten, oder die Gemälde mit einer dünnen Lage desselben belegten. Er nennt dies „*Encausto pingere*". Auch Seneca redet von diesem Wachse (epist. 121.): „*Pictor colores, quos ad reddendam similitudinem multos variosque ante se posuit, celerrime denotat, et inter ceram opusque facili vultu ac manu commeat.*" Endlich gehört auch folgende Stelle aus dem Varro (*De re rustica*, lib. III, cap. 17.) hierher: „*Pausias et caeteri pictores ejusdem generis loculatas magnas habent arculas, ubi discolores sunt cerae.*"

1) In der schon oben angeführten „Beschreibung einer mit dem Calauschen Wachse ausgemalten Farben-Pyramide".

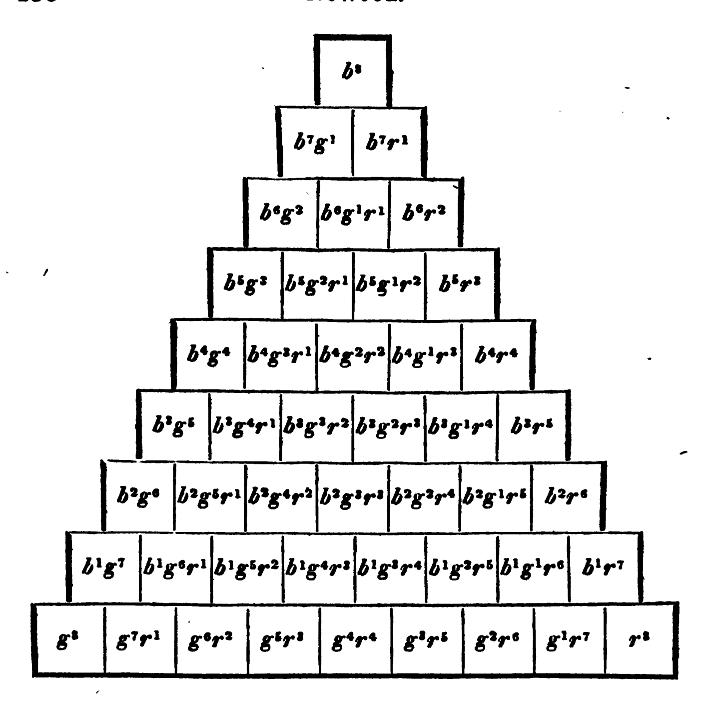
min, 3 Gran Berlinerblau und 12 Gran Gummigutt gleiche Stärke in den Mischungen haben. Die Mayer-sche Farbe $r^3\,b^2\,g^3$, welches bedeutet, dafs der Grad der Stärke des Roth 3, des Blau 2 und des Gelb 3 sein soll, bestimmte er demnach durch folgende Rechnung: Weil für einen Grad der Stärke dem Gewichte nach 2 Theile Karmin, 8 Theile Berlinerblau und 12 Theile Gummigutt zu nehmen sind, so erfordern

3 Grad Stärke	des	Roth	zu	2	Gewichtstheilen	6 Theile,
2 -	-	- Blau	-	3	-	6 -
3 -	-	- Gelb	-	12	-	36 -

zusammen also 48 Theile, d. h. soll die ganze Mischung 48 Gran wiegen, so hat man, um die Farbe $r^3\,b^2\,g^3$ zu erhalten, 6 Gran Karmin, 6 Gran Berlinerblau und 36 Gran Gummigutt zu nehmen, woraus sich denn für jedes andere Gewicht der Mischung die von jedem Grundpigmente erforderlichen Grane leicht berechnen liefsen. Nachdem Lambert sich der Mühe einer solchen Abwägung unterzogen hatte, wurden die Mischungen von Calau selbst mit seinem Wachse abgerieben, das, wo es nöthig schien, mit Gummi versetzt war, und in die Pyramide, die sich auf dem ersten Blatte des Lambertschen Buches befindet, eingetragen.

Diese, unter dem Namen der Lambertschen Farben-Pyramide bekannte Figur stellt einen dreiseitigen, pyramidenförmigen, auf der dem Auge zugewandten Seite offenen Kasten vor, dessen Inneres durch sechs Dreiecke, parallel mit der Grundfläche durchschnitten ist. In dieser und jedem der sechs Dreiecke stehen die Grundfarben in den drei Ecken, oben Blau, links Gelb und rechts Roth. In der Grundfläche ist der Uebergang aus jeder Grundfarbe in die andere durch sieben Mittelstufen durchgeführt, so dafs im Ganzen 45 Quadrate in derselben vorkommen. In dem

ersten Fache, das nach Sechsteln gemischt ist, sind zwischen jeden zwei Grundfarben fünf Uebergänge, und es enthält im Ganzen 28 Quadrate; auch sind in diesem Fache die Grundpigmente heller genommen, indem sie dünner auf die weifse Ebene des Papieres gestrichen wurden. In dem zweiten Fache, in welchem die Grundpigmente wieder heller, als im ersten, und nach Vierteln gemischt sind, kommen 15 Quadrate vor; in dem dritten, das noch heller gehalten, und nach Dritteln genommen ist, 10 Farben; in dem vierten die drei Grundfarben, gleichfalls heller, als in dem vorigen Fache, und ihre Mittelfarben, Orange, Grün, Violett; in dem fünften die drei Grundfarben selbst, aber wieder heller, als im vierten; endlich im sechsten ein blofs auf dem weifsen Blatte durch schwarze Linien begrenztes Quadrat, um die weifse Farbe, die nach und nach in immer gröfseren Mengen den Grundfarben zugemischt wurde, vorzustellen. Es wird hinreichen, wenn ich, nach der Mayerschen Bezeichnungsart, blofs die in der Grundfläche vorkommenden Mischungen hersetze, weil die Zahl der zwischen jeden zwei Grundfarben liegenden Uebergänge in derselben am gröfsten ist. Da die Mischungen hier nach Achteln gemacht, die in ihrer natürlichen Intensität genommenen Grundfarben also durch r^8, g^8, b^8 zu bezeichnen sind, so mufs die Grundfläche folgende Farben enthalten:



Ein Blick auf diese Figur zeigt, dafs die zur Linken befindliche Reihe sieben Mittelstufen b^7g^1, b^6g^2, b^5g^3 .... zwischen Blau und Gelb, also eben so viele Nuancen von Grün, die untere Reihe sieben Nuancen von Orange, und die zur Rechten liegende eben so viele Nuancen von Violett enthält, welche letzteren aber in der Farben-Pyramide des Lambertschen Buches am wenigsten gelungen erscheinen, indem die Farben b^5r^3 und b^4r^4 beinahe eben so dunkel sind, wie die in ihrer Nähe liegenden. Die Mischung $b^2g^4r^2$ giebt ein ziemlich helles Braun.

Lambert erwartete von dieser seiner Farben-Pyramide viel zu viel, wenn er glaubte, den Färbern, Farbehändlern und selbst Malern damit ein Farben-Muster gegeben zu haben. Das Auge entscheidet über

die Farben-Uebergänge genauer, als sich diese berechnen lassen, und somit ist das Verdienst, das sich Lambert durch diese mühsamen Mischungen um die Farbenlehre erwarb, kein gröſseres, als daſs er durch die Ausführung des von Mayer gemachten Vorschlages einen wesentlichen Beitrag zu der Lehre von den drei Grundpigmenten geliefert hat.

Ich will deshalb der von Runge angegebenen Farben-Kugel [1]) nur mit wenigen Worten gedenken. Er zieht über die Oberfläche einer Kugel einen gröſsten Kreis, und trägt in drei, gleich weit von einander liegenden, also um 120° entfernten Punkten reines Roth, Gelb und Blau auf. Jede zwei dieser Grundfarben mischt er nun so, daſs gerade in der Mitte zwischen ihnen die prismatische Mittelfarbe liegt, also Orange 60° vom Roth, Grün 60° vom Gelb, und Violett 60° vom Blau, die dazwischen liegenden Grade aber von Farben eingenommen werden, die sich, in einem bestimmten Verhältnisse gemischt, auf der einen Seite der einen, auf der anderen der anderen Grundfarbe immer mehr nähern, und zuletzt in dieselbe übergehen. Den einen Pol dieses gröſsten Kreises nimmt Runge weiſs, den entgegengesetzten schwarz, so daſs, wenn man durch diese beiden Pole und die Farben des gröſsten Kreises Meridiane gezogen denkt, jede derselben, auf dem ihr zugehörigen Meridiane, durch allmähliges Zusetzen von Weiſs auf der einen Halbkugel dem weiſsen, und durch allmähliges Zusetzen von Schwarz auf der anderen dem schwarzen Pole immer näher gebracht, und dadurch allerdings eine viel grös-

1) „Farben-Kugel oder Konstruktion des Verhältnisses aller Mischungen der Farben zu einander, und ihrer vollständigen Affinität.“ Von P. O. Runge. Hamburg, 1810.

sere Menge von Farben-Uebergängen erhalten werden kann, als dies weder bei Mayer's Dreieck, noch bei Lambert's Pyramide möglich ist.

Diese Abschweifung von dem Gegenstande, der mir hier eigentlich vorliegt, habe ich mir erlaubt, um nachzuweisen, worauf sich die Lehre von den drei Grundpigmenten, auf die sich Goethe gegen Newton beruft, gründe und wie viel Wahrscheinlichkeit sie für sich habe. Wie dem aber auch sein mag, so wissen wir bereits, daſs dies alles in gar keiner Beziehung zu der Newtonschen Erklärung der Farbenerscheinungen stehe. Es bleibt mir daher nur noch übrig, die Einwürfe, welche Goethe gegen den dritten Hauptsatz der Newtonschen Theorie macht, näher zu beleuchten.

So unwesentlich auch die Unzerlegbarkeit der sieben Hauptfarben für die Newtonsche Farbenlehre ist, so verhält sich dies doch keinesweges eben so mit der, in der fünften Proposition des zweiten Theiles des ersten Buches der „Optik" aufgestellten Behauptung, daſs die Weiſse des Sonnenlichtes aus allen prismatischen Farben, wenn sie in dem erforderlichen Verhältnisse vereinigt sind, zusammengesetzt sei. Dieser Satz ist eine nothwendige Folge der diversen Refrangibilität, und es läſst sich ohne denselben weder die weiſse Mitte in dem Spektrum, wenn man es unmittelbar hinter dem ersten Prisma auffängt, noch der Umstand, daſs die, in gebrochenem Lichte gesehenen Bilder immer nur an den Rändern gefärbt sind, erklären. Da nun Newton selbst mit der Wahrheitsliebe, die ihn überall zum Gegenstande unserer höchsten Verehrung macht, eingesteht, daſs er ungeachtet aller Sorgfalt, deren er sich bei der Mischung der Pigmente befleiſsigte, dennoch nie ein vollkommenes Weiſs, son-

dern immer nur ein Grau, das sich, je nachdem die Mischung mehr oder weniger vollkommen war, dem Weifsen mehr oder weniger näherte, habe erhalten können: so wählt denn auch Goethe diese Stelle der Newtonschen Theorie, wo ihm die Waffen durch den Gegner selbst in die Hände gegeben sind, zu einem seiner Angriffspunkte.

Dafs Pigmente nicht das Mittel sind, zu prüfen, ob durch eine Vereinigung der prismatischen Farben die Weifse des Sonnenlichtes wieder gewonnen werden könne, ist offenbar; auch hat Newton wiederholentlich hieran erinnert. Denn es liegt schon aufserhalb der Grenzen menschlicher Kunst, nur die sieben Hauptfarben in dem Verhältnisse, und in dem Tone, in welchem sie in dem Sonnenlichte vorkommen, in Pigmenten mit einander zu mischen; um wie viel weniger ist es also möglich, auch die unendlich verschiedenen Uebergänge dieser Farben, so wie sie sich in dem Spektrum zeigen, in eine Mischung zu bringen. Newton würde daher seiner Theorie manchen Angriff erspart haben, wenn er sich bei seinen hierher gehörigen Versuchen überhaupt nicht auf Pigmente, gefärbte Pulver und dergleichen eingelassen, sondern sich lediglich an die prismatischen Farben selbst gehalten hätte. Denn auch die Farbenkreisel[1]) — mit Papieren von verschiedener Farbe belegte Scheiben, die mittelst einer, durch sie hindurchgehenden Achse in eine schnell rotirende Bewegung, gleich den gewöhnlichen Kreiseln, gebracht werden, so dafs der Eindruck der einen Farbe aufs Auge noch nicht verschwunden ist, wenn es schon den der übrigen empfängt, die Empfindung im Auge also, so viele Farben

1) *Opusc.*, tom. II, pag. 353.

man auch auf die Scheibe legen mag, dieselbe sein mufs, die eine Mischung aus allen diesen Farben hervorbringen würde — können bei aller Abwechslung der Versuche, welche sie mit so leichter Mühe zulassen, kein Resultat geben, das der Newtonschen Theorie entspricht. Denn nimmt man, um den Versuch zu vereinfachen, an, dafs alle prismatischen Farben aus Roth, Gelb und Blau zusammengesetzt sind, und legt drei gleiche Sektoren, jeden also mit einem Centri-Winkel von 120°, den einen in rother, den anderen in gelber und den dritten in blauer Farbe auf die Scheibe: so erhält man, sobald sie in eine rotirende Bewegung gebracht ist, niemals Weifs, sondern ein um so tieferes Grau, je gesättigter die Pigmente sind, ein um so helleres dagegen, je heller diese genommen werden, je mehr weifse Stralen also ein jeder von ihnen schon an und für sich selbst reflektirt. Bei näherer Prüfung der Sache kann ja aber auch kein anderes Resultat, als eben dieses gewonnen werden. Denn gesetzt auch, es sei möglich, diese drei Pigmente gerade in dem Tone wählen zu können, wie ihn die prismatischen Farben erfordern: so würden doch nur drei weifse Sektoren, in die kreisende Bewegung gebracht, weifses Licht reflektiren können. Hier also, wo jeder der gefärbten Sektoren, der rothe sowohl, wie der gelbe und blaue, nur den dritten Theil des weifsen Lichtes zurückwirft, kann der Erfolg kein anderer sein, wie wenn man einen Theil Weifs und zwei Theile Schwarz mit einander gemischt hätte, wodurch nichts anderes, als ein ziemlich tiefes Grau entstehen kann. Mit den prismatischen Farben selbst mufs man also experimentiren, wenn man jenen, aus der verschiedenen Brechbarkeit nothwendig folgenden Satz auch in der Erfahrung bewährt sehen will.

Ueberzeugend sind daher sowohl der durch Fig. 7. erläuterte, als auch ein anderer, oben gleichfalls schon mitgetheilter Versuch, durch welchen Newton die Weifse des Sonnenlichtes wiedererhielt, nachdem er die Farben eines Prisma mit abwärts gekehrtem Winkel durch ein anderes, eben so grofses und dicht dahinter gestelltes mit aufwärts gekehrtem Winkel aufgefangen hatte.

Einen dritten Beweis giebt Goethe selbst, ohne dies freilich zu wollen. Seine eigenen Worte sind diese:

„Will man aber in einem solchen vollendeten Spektrum die Mitte, d. h. das Grüne aufheben, so wird dies blofs dadurch möglich, dafs man erst durch zwei Prismen vollendete Spektra hervorbringt, durch Vereinigung von dem Gelbrothen des einen mit dem Violetten des anderen einen Purpur darstellt, und diesen nunmehr mit dem Grünen eines dritten vollendeten Spektrums auf eine Stelle bringt. Diese Stelle wird alsdann farblos, hell und, wenn man will, weifs erscheinen, weil auf derselben sich die wahre Farbentotalität vereinigt, neutralisirt und jede Specifikation aufhebt. Dafs man an einer solchen Stelle das σκιερὸν nicht bemerken werde, liegt in der Natur, indem die Farben, welche auf diese Stelle fallen, drei Sonnenbilder, und also eine dreifache Erleuchtung hinter sich haben.“ [1])

Goethe selbst sagt hier also, dafs er, wenn er das prismatische Gelbroth mit dem Violetten und Grünen vereinigte, Weifs erhalten habe; sucht aber die Ursache hiervon nicht in der verschiedenen Brechbarkeit, sondern vielmehr darin, dafs sich an einer solchen Stelle eine dreifache Intensität des Sonnenlichtes vereinige, dafs also alsdann das σκιερὸν fehle, das ihm nach der Meinung des Aristoteles zur Erzeugung der Farben nothwendig zu sein scheint. Dies verhält sich indefs nicht so. Die Intensität des Sonnenlichtes

1) Farbenl., Bd. I, pag. 600.

steht vielmehr, wie ich schon vorhin bemerkte, im umgekehrten Verhältnisse mit der Ausbreitung desselben. Es enthält also das prismatische Roth nicht die ganze Licht-Intensität der Sonne, sondern nur, wenn es drei prismatische Grundfarben giebt, ein Drittel derselben, eben so wie das Gelb und Blau. Es sind folglich da, wo durch die Vermischung dieser Farben die Weifse des Sonnenlichtes wieder zum Vorschein kommt, nicht drei Licht-Intensitäten der Sonne, sondern drei Dritttheile derselben, folglich eine einzige vorhanden. So ist also auch dieser Versuch für die verschiedene Brechbarkeit entscheidend.

Zu den, sich immer wiederholenden Invektiven Goethe's gehört endlich noch die, dafs Newton, statt mit Bildern, stets mit Stralen operire, und dafs er das Licht durch zu kleine Oeffnungen einzwänge, um seine Absicht zu täuschen, desto sicherer erreichen zu können.

Der erste Vorwurf bedarf keiner Widerlegung. Man würde sonst mit demselben Rechte auch die ganze theoretische Physik für nichts weiter, als „Albernheiten" erklären müssen, da man hier überall von Punkten zu Linien, und von diesen zu Flächen und Körpern hinaufsteigt. Was aber den zweiten Vorwurf betrifft, so hat sich Newton zwar nicht in der „Optik", wohl aber in der Antwort an Linus hinreichend darüber ausgesprochen. Er habe zwar den Durchmesser der Lichtöffnung auf den vierten Theil eines Zolles bestimmt, doch könne sie auch von einer anderen Gröfse sein, so wie auch das Prisma nicht nothwendig unmittelbar an derselben, sondern in einiger Entfernung aufgestellt werden dürfe, wenn nur Alles so angeordnet ist, dafs das Sonnenlicht, gleich bei seinem Austritte aus dem Prisma unter rechten Winkeln aufgefangen,

eine runde Gestalt habe, dafs aber diese Bedingung nothwendig sei, damit eine Vergleichung zwischen der Breite und Länge des Spektrums möglich werde.[1])

Dies sind die wesentlichen Einwendungen, die Goethe gegen die Newtonsche Theorie nicht etwa zuerst gemacht, sondern in der irrthümlichen Befangenheit früherer Gegner wiederholt hat, Einwendungen, unter denen auch nicht eine einzige ist, die nicht aus einer unrichtigen Auffassung der verschiedenen Brechbarkeit entsprungen wäre. Alle übrigen Einwürfe, die auf jene sich stützen, sind daher eben so bedeutungslos, so dafs es nicht der Mühe werth ist, auf ihre Widerlegung einzugehen.

Die Grund-Phänomene der Goetheschen Farbenlehre.

Den Newtonschen, auf unumstöfslichen Thatsachen beruhenden Principien stellt Goethe andere, durch „entschiedene Aperçus" gewonnene entgegen, die ich gleichfalls mit seinen eigenen Worten anführen will, damit man das Unhaltbare seiner Behauptungen im Zusammenhange übersehen könne.

„Die Farbe entsteht nicht aus einer Theilung des Lichtes, sondern vielmehr durch den Zutritt einer äufseren Bedingung, die unter mancherlei empirischen Formen, als des Trüben, des Schattens, der Grenze sich ausspricht."[2])

„Das höchstenergische Licht, wie das der Sonne, des Phosphors in Lebensluft verbrennend, ist blendend und farblos. So kommt auch das Licht der Fixsterne meistens farblos zu uns. Dieses Licht aber, durch ein auch nur wenig trübes Mittel gesehen, erscheint uns gelb. Nimmt die Trübe eines solchen Mittels zu, oder wird seine Tiefe vermehrt, so sehen wir das Licht nach und nach eine

1) *Opusc.*, tom. II, pag. 393.
2) Farbenl., Bd. I, pag. 522.

gelbrothe Farbe annehmen, die sich endlich bis zum Rubinroth steigert."[1])

„Wird hingegen durch ein trübes, von einem darauf fallenden Lichte erleuchtetes Mittel die Finsternifs gesehen, so erscheint uns eine blaue Farbe, welche immer heller und blasser wird, je mehr sich die Trübe des Mittels vermehrt, hingegen immer dunkeler und satter sich zeigt, je durchsichtiger das Trübe werden kann, ja bei dem mindesten Grade der reinsten Trübe als das schönste Violett dem Auge sichtbar wird."

„Wenn wir die Fälle durchgehen, unter welchen uns dieses wichtige Grund-Phänomen erscheint, so erwähnen wir billig zuerst der atmosphärischen Farben, deren meiste hierher geordnet werden können. Die Sonne durch einen gewissen Grad von Dünsten gesehen, zeigt sich mit einer gelblichen Scheibe. Oft ist die Mitte noch blendend gelb, wenn sich die Ränder schon roth zeigen. Beim Heerrauch (wie 1774. auch im Norden der Fall war), und noch mehr bei der Disposition der Atmosphäre, wenn in südlichen Gegenden der Scirocco herrscht, erscheint die Sonne rubinroth mit allen, sie im letzten Falle gewöhnlich umgebenden Wolken, die alsdann jene Farbe im Widerscheine zurückwerfen. Morgen- und Abendröthe entsteht aus derselben Ursache. Die Sonne wird durch eine Röthe verkündigt, indem sie durch eine gröfsere Masse von Dünsten zu uns stralt. Je weiter sie heraufkommt, desto heller und gelber wird der Schein."

„Wird die Finsternifs des unendlichen Raumes durch atmosphärische, vom Tageslichte erleuchtete Dünste hindurch angesehen, so erscheint die blaue Farbe. Auf hohen Gebirgen sieht man am Tage den Himmel königsblau, weil nur wenig feine Dünste vor dem unendlichen finsteren Raume schweben; sobald man in die Thäler hinabsteigt, wird das Blau heller, bis es endlich in gewissen Regionen und bei zunehmenden Dünsten ganz in ein Weifsblau übergeht. Eben so scheinen uns auch die Berge blau, denn indem wir sie in solcher Ferne erblikken, dafs wir die Lokal-Farben nicht mehr sehen, und

1) Farbenl., Bd. I, pag. 57. sqq.

kein Licht von ihrer Oberfläche mehr auf unser Auge wirkt: so gelten sie als ein reiner, finsterer Gegenstand, der nur durch die dazwischen tretenden trüben Dünste blau erscheint. Auch sprechen wir die Schattentheile näherer Gegenstände für blau an, wenn die Luft mit feinen Dünsten gesättigt ist. Die Eisberge hingegen erscheinen in grofser Entfernung noch immer weifs und eher gelblich, weil sie immer noch als hell durch den Dunstkreis auf unser Auge wirken."

„Die blaue Erscheinung an dem unteren Theile des Kerzenlichtes gehört auch hierher. Man halte die Flamme vor einen weifsen Grund, und man wird nichts Blaues sehen, welche Farbe hingegen sogleich erscheinen wird, wenn man die Flamme gegen einen schwarzen Grund hält. Dieses Phänomen erscheint am lebhaftesten bei einem angezündeten Löffel Weingeist. Wir können also den unteren Theil der Flamme für einen Dunst ansprechen, welcher, obgleich unendlich fein, doch vor der dunkelen Fläche sichtbar wird. Er ist so fein, dafs man bequem durch ihn lesen kann; dahingegen die Spitze der Flamme, welche uns die Gegenstände verdeckt, als ein selbstleuchtender Körper anzusehen ist."

„Uebrigens ist der Rauch gleichfalls als ein trübes Mittel anzusehen, das uns vor einem hellen Grunde gelb oder röthlich, vor einem dunkelen aber blau erscheint."

„Wenden wir uns nun zu den flüssigen Mitteln, so finden wir, dafs ein jedes Wasser, auf eine zarte Weise getrübt, denselben Effekt hervorbringe. Die Infusion des nephritischen Holzes, welche früher so grofses Aufsehen machte, ist nur ein trüber Liquor, der in dunkelen hölzernen Bechern blau aussehen, in einem durchsichtigen Glase aber, gegen die Sonne gehalten, eine gelbe Erscheinung hervorbringen mufs. Einige Tropfen wohlriechender Wasser, eines Weingeistfirnisses, mancher metallischen Solutionen können das Wasser zu solchen Versuchen in allen Graden trübe machen. Seifenspiritus thut fast die beste Wirkung."

„Der Grund des Meeres erscheint den Tauchern bei hellem Sonnenscheine purpurfarben, wobei das Meerwasser als ein trübes und tiefes Mittel wirkt. Sie bemerken

bei dieser Gelegenheit die Schatten grün, welches die geforderte Farbe ist."

„Unter den festen Mitteln begegnet uns in der Natur zuerst der Opal, dessen Farben wenigstens zum Theil daraus zu erklären sind, dafs er eigentlich ein trübes Mittel sei, wodurch bald helle, bald dunkele Unterlagen sichtbar werden. Zu allen Versuchen aber ist das Opal-Glas (*vitrum astroides*, *girasol*) der erwünschteste Körper. Er wird auf verschiedene Weise verfertigt, und seine Trübe durch Metallkalke hervorgebracht. Auch trübt man das Glas dadurch, dafs man gepulverte und kalcinirte Knochen mit ihm zusammenschmelzt, deswegen man es auch Beinglas nennt; doch geht dieses gar zu leicht ins Undurchsichtige über. Man kann dieses Glas zu Versuchen auf vielerlei Weise zurichten. Denn entweder man macht es nur wenig trübe, da man denn durch mehrere Schichten über einander das Licht vom hellsten Gelb bis zum tiefsten Purpur führen kann, oder man kann auch stark getrübtes Glas in dünneren und stärkeren Scheiben anwenden."

„Fensterscheiben durch die Stellen, an welchen sie blind geworden sind, werfen einen gelben Schein auf die Gegenstände, und eben diese Stellen sehen blau aus, wenn wir durch sie nach einem dunkelen Gegenstande hinblicken."

„Das angerauchte Glas gehört auch hierher, und ist gleichfalls als ein trübes Mittel anzusehen. Es zeigt uns die Sonne mehr oder weniger rubinroth, und ob man gleich diese Erscheinung der schwarzbraunen Farbe des Russes zuschreiben könnte, so kann man sich doch überzeugen, dafs hier ein trübes Mittel wirke, wenn man ein solches mäfsig angerauchtes Glas, auf der vorderen Seite durch die Sonne erleuchtet, vor einen dunkelen Gegenstand hält, da wir denn einen bläulichen Schein gewahr werden."

„Mit Pergamentblättern läfst sich in der dunkelen Kammer ein auffallender Versuch anstellen. Wenn man vor die Oeffnung des, eben von der Sonne beschienenen Fensterladens ein Stück Pergament befestigt, so wird es weifslich erscheinen; fügt man aber ein zweites hinzu

entsteht eine gelbliche Farbe, die immer zunimmt, und endlich bis ins Rothe übergeht, je mehr man Blätter nach und nach hinzufügt." etc. etc. etc.

Goethe sagt hier also, daſs Roth entstehe, wenn ein farbloses und dabei energisches Licht durch ein trübes Mittel gesehen wird, und daſs dies Roth ins Gelbe übergehe, wenn das Mittel weniger trübe ist; daſs dagegen die blaue Farbe erscheine, wenn durch ein trübes, aber von einem darauf fallenden Lichte erleuchtetes Mittel die Finsterniſs gesehen wird, und daſs sich diese Farbe um so dunkeler und satter, selbst violett zeige, je mehr die Trübe an Durchsichtigkeit gewinnt.

Ich will hier auf die sonderbare Behauptung, daſs Licht gesehen werden könne, da es doch nur Gegenstände sind, die wir mittelst des reflektirten Lichtes sehen, nicht weiter eingehen; ich will hier auch das Unbestimmte und Vieldeutige, das in den Ausdrücken „trübes Mittel" und „mindester Grad der reinsten Trübe" liegt, nicht weiter hervorheben; ich will es hier nicht ausführlicher erörtern, wie wenig Ursache gerade Goethe, der nicht einmal seine Definitionen scharf und verständlich giebt, gehabt habe, den Vortrag Newton's mit so beispielloser Härte zu tadeln: sondern nur bemerken, daſs ganz dieselbe Ansicht über die Entstehung des Roth und Blau schon hundert Jahre früher de la Hire geäuſsert hat,[1]) der sich aber wohl hü-

1) In den *Mém. de l'acad. des sciences*, 1711., pag. 78., stehen unter der Ueberschrift: *Remarques sur quelques couleurs par de la Hire*, folgende Worte:

„*Le rouge pourpré et foncé ne paroist vif et éclatant, que lorsqu'il est exposé à une grande lumiere, mais lorsqu'on le regarde dans une lumiere mediocre, il nous paroist fort brun, et tirant sur le noir.*"

tete, die Erscheinungen, welche er für seine Ansicht geltend macht, als „Grund-Phänomene" ansehen zu wollen, auf welche eine neue Farbenlehre gegründet werden könnte.

Um die von Goethe angegebenen Beispiele der Reihe nach durchzugehen, so bestätigt es sich nicht, dafs die Sonne, durch trübe Mittel gesehen, jedesmal roth erscheine. Oft ist der Himmel mit Dünsten und Wolken so angefüllt, dafs man durch sie hindurch mitten am Tage in die Sonne sehen kann, ohne geblendet zu werden, und dennoch erscheint ihr Licht silberweifs,

„Nous sçavons aussi, que lorsqu'on regarde un corps lumineux ou fort clair au travers d'un corps noir et rare, il nous paroist rouge, comme lorsqu'on regarde le soleil au travers d'un verre enfumé, et l'on ne peut pas dire, que c'est la couleur propre de cette fumée noire, qui luy donne ce rouge, puisque cette mesme fumée, estant mêlée avec du blanc, fait une couleur, qui tire beaucoup sur le bleu, ce qui est fort éloigné du rouge."

„On sçait encore, que lorsqu'on voit un corps noir au travers d'un corps blanc et rare, il nous donne la sensation du bleu, et l'on ne peut pas en douter, puisque ce n'est, que par cette raison, que le ciel nous paroist bleu; car sa profondeur immense, estant tout à fait privée de lumiere, ne peut nous paroistre, qu'au travers des particules de l'air, qui sont éclairées du soleil, et qui paroissent blanches. C'est aussi, pourquoy le noir de fumée, detrempé avec le blanc, paroist bleu; car les corps, qui paroissent blancs, estant toûjours un peu transparents, et se confondant avec le noir de derriere, donnent une sensation de bleu."

„Ces deux explications du rouge et du bleu nous feront connoistre, pourquoy les veines, qu'on voit sur la superficie de la peau, et principalement, si elle est bien blanche, nous paroissent bleuës, quoyqu'elles soient remplies d'un sang fort rouge. Car par ce, que j'ay expliqué cy-devant, il est évident, que le sang, qui est rouge brun, estant renfermé dans les veines, y est en quelque façon dans l'obscurité, et par consequent paroistroit comme noir; et ce noir estant vû au travers de la membrane de la veine, et au travers de la peau blanche, nous fait une sensation de bleu."

wie dies bekanntlich auch geschieht, wenn die Sonne schon hoch über den Horizont gestiegen ist, und wir sie durch dichte, rings um uns her lagernde Nebel erblicken. Es kann hier also von keinem „Grund-Phänomene“ die Rede sein, das sich, sobald dieselben Bedingungen vorhanden sind, jedesmal wiederholen müfste.

Es steht ferner mit der Beobachtung Aller, welche die Gipfel hoher Berge erstiegen, im Widerspruche, dafs der Himmel „um so dunkeler und satter, und endlich violett“ erscheine, je reiner das trübe Mittel der Luft wird. Saussure z. B. fand nicht, dafs die blaue Farbe des Himmels sich immer mehr zum Violett hinneigte, je mehr er sich dem Gipfel des Montblanc näherte, sondern es wurde vielmehr das Blaue, ohne diesen Ton zu verlieren, immer dunkeler, und ging zuletzt ins Schwarze über. Seine Beobachtungen müssen aber als um so zuverlässiger gelten, da er die blauen Nuancen des Himmels mit denen seines Kyanometers [1])

1) Gren's Journal der Physik, Bd. VI, pag. 95. Die Einrichtung des Kyanometers beschreibt Saussure mit folgenden Worten:

„Wenn man zwei Nuancen von Blau oder von jeder anderen Farbe hat, welche wenig von einander verschieden sind, die sich aber doch sehr gut unterscheiden lassen, wenn man sie bei einander betrachtet: so ist es gewifs, dafs man sie bei einer gewissen Distanz nicht wird unterscheiden können, sondern dafs sie durchaus von gleicher Schattirung erscheinen werden. Es scheint also, dafs man den Unterschied des Tones (die Tiefe und Höhe) zweier Nuancen durch die Entfernung, in der man sie nicht weiter unterscheiden kann, bestimmen könne; aber diese Entfernung ist nach der Güte und Weite des Gesichtes des Beobachters und nach der Intensität des Lichtes, das diese Farben erhellt, verschieden. Man müfste also diese Quellen von Ungewifsheit vermeiden. Zu dem Ende fiel ich darauf, zum Maafse meiner Entfernung nicht eine bestimmte Anzahl von Fufsen oder Klaftern, sondern die Distanz zu nehmen, bei der man nicht weiter einen schwarzen Kreis von einer bestimmten Gröfse auf einem weifsen Grunde sieht. Die Gröfse des schwarzen Kreises, der für meine Augen bei derselben Distanz verschwindet, wo zwei Nuancen in ihrem Unterschiede verschwin-

verglich, die er, mit Ausschliefsung von allem Violetten, nur durch eine Mischung von Berlinerblau und Beinschwarz erhalten hatte. Zu jener unwahren Erklärung der Entstehungsweise des Violett wurde aber Goethe, wie wir sogleich sehen werden, durch seine

den, ist also ein sicheres Maafs der Verschiedenheit des Tones dieser Nuancen. Je gröfser der Kreis ist, desto mehr werden die Nuancen von einander unterschieden sein, und umgekehrt."

„Als ich das Kyanometer einrichtete, nahm ich zum Maafsstabe einen schwarzen Kreis von 1¾ Linien im Durchmesser. In diesem Instrumente oder in der Folge der Nuancen ist das Null der Skale, oder die totale Abwesenheit des Blau durch einen Streifen weifs Papier angezeigt, dessen Teint sich mehr ins Rothgelb, als ins Weifs zieht. No. I. oder die Nuance des schwächsten Blau ist ein Papierstreifen, der äufserst schwach mit einem sehr blassen Blau gefärbt ist, so dafs man es bei der Entfernung, bei welcher der schwarze Kreis von 1¾ Linien im Durchmesser nicht weiter bemerkt werden kann, nicht mehr vom Weifsen unterscheiden kann, und das doch stark genug ist, um es im Augenblicke wieder zu unterscheiden, wenn man sich wieder nähert, und den Kreis wieder zu sehen anfängt. Die Nuance No. II. ist auf dieselbe Art durch ihre Vergleichung mit No. I. bestimmt worden; No. III. durch Vergleichung mit No. II., und so vom dunkelen zum dunkleren bis zum stärksten Teint, den das Berlinerblau von der besten Beschaffenheit geben kann, wenn es aufs genaueste gerieben und mit Gummiwasser angemacht ist. Als ich dieses stärkere Teint erreicht hatte, vermischte ich etwas Beinschwarz mit dem Blau, und that verhältnifsmäfsig eine gröfsere Quantität des Schwarz hinzu, um meine Nuancen durch denselben Weg immer mehr zu verstärken, bis ich zum ganz reinen Schwarz gekommen wäre."

„Man sieht leicht ein, dafs dies nicht in der Absicht geschah, den Himmel jemals von dieser Farbe zu beobachten, sondern deswegen, damit die beiden Endpunkte meiner Skale unveränderlich wären. Wenn ich, wie ich angeführt habe, einen Kreis von 1¾ Linien zum Maafsstabe nahm, so erhielt ich 51 Nuancen zwischen Weifs und Schwarz, was 53 Tinten macht, wenn wir noch die beiden Extreme dazu nehmen. Diese Nuancen sind zwar etwas schwach, man steht manchmal an, auf welche man die Farbe des Himmels beziehen soll; es ist aber leicht, sie stärker zu machen. Es ist dazu hinreichend, einen Kreis von einem gröfseren Durchmesser zum Maafsstabe zu nehmen, wo alsdann die Nuancen deutlicher, und minder zahlreich werden."

eben so unwahre Hypothese über die Entstehung der prismatischen Farben gezwungen.

Unbegreiflich ist es auch, wie es Goethe'n entgehen konnte, dafs gerade die Farben der Morgen- und Abend-Dämmerung, die er hierauf folgen läfst, sich am wenigsten in seine „Grund-Phänomene" fügen. Denn wir sehen, so lange die Sonne unter dem Horizonte steht, nicht das „blendende, farblose und höchstenergische Licht" dieses Weltkörpers durch das trübe Mittel der Luft und ihrer Dünste, sondern vielmehr den unendlichen, finsteren Himmelsraum durch die, von der Sonne erleuchtete Luft und ihre Dünste. Die Morgen- und Abend-Dämmerung müfste daher, so lange sich die Sonne unter dem Horizonte befindet, den „Grund-Phänomenen" gemäfs nicht rothgelb, sondern blau erscheinen.

Was Goethe ferner zu Gunsten seiner Lehre über die Weifse der Eisberge sagt, ist gleichfalls unhaltbar. Denn wenn es ausgemacht ist, dafs die mit Schnee bedeckten, und von der Sonne erleuchteten Berge noch in einer Entfernung von 20 bis 30 Meilen[1]) weifs erscheinen, nachdem also das von ihnen reflektirte Licht eine doppelt so tiefe Luftmasse, wie die Atmosphäre, wenn sich die Sonne bei ihrem Auf- oder Untergange hinter derselben roth zeigt, durchdrungen hat: so steht dies mit den „Grund-Phänomenen", nach denen der Schnee roth, oder wenigstens röthlich erscheinen müfste, in offenbarem Widerspruche.

Es sind vielmehr diese, von Goethe angeführten Beispiele ein neuer Beweis für die verschiedene Brechbarkeit des Sonnenlichtes, aus der allein es erklärlich

1) Saussure in Gren's Journal, Bd. VI, pag. 99.

wird, wie die durchsichtigen Mittel eine andere Reihe von Farben reflektiren, eine andere durch sich hindurchlassen können. Zu den Mitteln, welche die blauen Stralen reflektiren, und die gelbrothen durchlassen, gehört auch die von Dünsten freie Atmosphäre. Daher also die blaue Farbe des Himmels, wenn die Sonne hoch über dem Horizonte steht, und ihre blauen Stralen von der seitwärts liegenden Luft zurückgeworfen werden, und die gelbrothe Farbe des Horizontes, wenn sich die Sonne in seiner Nähe befindet, und ihre gelbrothen Stralen von der Luft durchgelassen werden. Ist der Hintergrund blendend weiſs, wie der von der Sonne erleuchtete Schnee, so kann es nicht auffallen, daſs die von der Luft reflektirten blauen Stralen, wegen des Uebermaaſses der von dem Schnee reflektirten weiſsen unmerklich werden, während im entgegengesetzten Falle, wenn der Hintergrund, wie die im Schatten der Sonne liegenden Berge, dunkel ist, die von der Luft reflektirten blauen Stralen durch keine weiſsen geschwächt sind, die Luft also in ihrer eigenthümlichen Farbe erscheinen muſs.

Daſs sich dies wirklich so verhalte, daſs der Hintergrund wohl die eigenthümliche Farbe eines durchsichtigen Mittels modificiren könne, nicht aber der letzte Grund dieser Farbe ist, beweist eben das folgende, von Goethe angeführte und von Gautier entlehnte Beispiel. Es ist allerdings wahr, daſs der untere Theil einer, etwa einen Zoll tiefen Alkohol-Flamme nicht mehr blau erscheint, wenn man ein weiſses Papier dahinter hält, weil begreiflicherweise die dieser Flamme eigenthümliche blaue Farbe, mit welcher sie in einem sonst dunkelen Zimmer alle umgebenden Gegenstände beleuchtet, durch das Uebermaaſs der von dem Papiere reflektirten weiſsen Stralen geschwächt

wird. Giebt man aber dem brennenden Alkohol eine gröfsere Tiefe von drei, vier und mehreren Zollen, so erscheint der untere Theil der Flamme, wenn man durch denselben das weifse Papier betrachtet, nicht mehr farblos, sondern blau, und es verschwindet diese Bläue erst dann, wenn man auf das Papier noch Sonnenstralen fallen läfst. Es würde also nur nöthig sein, der Flamme eine noch gröfsere Tiefe zu geben, damit ihr unterer Theil sich auch gegen das, von der Sonne erleuchtete Papier in seiner eigenthümlichen blauen Farbe zeige.

Unerklärlich ist es auch nach der Goetheschen Farbenlehre, wie es zugehe, dafs der obere Theil einer Kerzenflamme gelblich ist. Denn da Rumford es durch seine, mit der bekannten Sorgfalt angestellten photometrischen Versuche [1]) aufser Zweifel gesetzt hat, dafs der obere Theil einer Kerzenflamme vollkommen durchsichtig ist, weil er gegen eine Stelle am Himmel, in der Nähe der Sonne gehalten, gänzlich verschwindet: so sieht man auch hier den dunkelen Hintergrund durch ein leuchtendes, durchsichtiges Mittel. Der obere Theil der Flamme müfste also blau, oder vielmehr, da das Mittel vollkommen durchsichtig ist, violett sein.

Was die übrigen Beispiele betrifft, die Goethe anführt, die Farbe des Meeresgrundes, die Röthe der Sonnenscheibe, wenn man sie durch ein angerauchtes Glas, oder durch gewisse Arten von Beinglas betrachtet, und das röthliche Licht der Pergament-Scheiben: so beweisen sie eben deshalb nichts, weil es bereits zur Genüge dargethan ist, dafs die „Grund-Phänomene" nicht allgemeingiltig sind. Wie aber alle diese

1) Gren's Journal, Bd. II, pag. 15., in zwei Briefen an Joseph Banks.

Erscheinungen aus der verschiedenen Brechbarkeit des Lichtes erklärt werden, wissen wir bereits.

Goethe war also in einem Irrthume befangen, wenn er glaubte, dafs man alle Farbenerscheinungen auf jene „Grund-Phänomene“ zurückführen könne. Es liegt ihnen vielmehr ein höheres Gesetz, das der verschiedenen Brechbarkeit zum Grunde, und Goethe selbst erkennt zuweilen, ohne sich dessen bewufst zu sein, dies Gesetz an. Wenn er es z. B. für nothwendig erklärt, dafs das trübe Mittel, durch welches wir einen dunkelen Hintergrund sehen, erleuchtet sei, damit es sich in blauer Farbe zeige: so bekennt er sich eben durch die Hinzufügung jener Bedingung unwillkührlich zur Newtonschen Theorie. Denn erleuchtet sehen wir die Gegenstände nur durch das Licht, welches sie zurückwerfen. Erscheint uns also die erleuchtete Luft blau, so ist dies nur dadurch möglich, dafs sie blofs blaue Stralen zurückwirft, und dies ist es ja eben, was auch Newton behauptet hatte.

Die Pracht des Regenbogens, den der Schöpfer zum ewigen Denkmal für die verschiedene Brechbarkeit des Sonnenlichtes an den Himmel gesetzt hat, eignete sich nicht zu jenen trüben Mitteln, und jenen „Ausgeburten des Lichtes und der Finsternifs“, wofür Goethe die Farben erklärt. Denn wie sich auch die trüben Mittel gegen den hellen oder dunkelen Hintergrund gebehrden mögen: so lassen sich weder die Winkel, unter denen die Farben in beiden Regenbogen erscheinen, noch ihre umgekehrte Ordnung in denselben daraus ableiten. Goethe fühlte es wohl, wie er hier mit der Natur in einen Kampf gerieth, der seiner Lehre den sicheren Untergang bringen mufste; denn nirgend läfst er sich auf eine Erklärung jener himmlischen Erscheinung ein, sondern hält mit

unerfüllten Hoffnungen hin. Dies alles aber konnte ihn dennoch nicht warnen, die fixe Idee, in die er sich nun einmal vertieft hatte, aufzugeben. Es sollte sich die neue Lehre wenigstens an dem Spektrum, und den farbigen Rändern der durch Linsen erzeugten Bilder bewähren, und so vernehmen wir denn, wie die Farben des Spektrums entstehen sollen.

„Man erinnere sich jener früheren Erfahrung, dafs ein helles Bild mit einem dunkelen Grunde, ein dunkeles mit einem hellen Grunde schon in Absicht auf unsere Retina in einer Art von Konflikt stehe. Das Helle erscheint in diesem Falle gröfser, das Dunkele kleiner."

„Bei genauer Beobachtung dieses Phänomens läfst sich bemerken, dafs die Bilder nicht scharf vom Grunde abgeschnitten, sondern mit einer Art von grauem, einigermaafsen gefärbtem Rande, mit einem Nebenbilde erscheinen. Bringen nun Bilder schon in dem nackten Auge solche Wirkungen hervor, was wird erst geschehen, wenn ein dichtes Mittel dazwischen tritt."

„Es entsteht also, wenn die Refraktion auf ein Bild wirkt, an dem Hauptbilde ein Nebenbild, und zwar scheint es, dafs das wahre Bild einigermaafsen zurückbleibe, und sich dem Vorrücken gleichsam widersetze. Ein Nebenbild aber in der Richtung, wie das Bild durch Refraktion über sich selbst und über den Grund hin bewegt wird, eilt vor, und zwar schmäler oder breiter, wie oben schon ausgeführt worden."

„Dafs nun die prismatische Erscheinung ein Nebenbild sei, davon kann man sich auf mehr, als eine Weise überzeugen. Es entsteht genau nach der Form des Hauptbildes. Dieses sei nun gerade, oder im Bogen begrenzt, gezackt oder wellenförmig, durchaus hält sich das Nebenbild genau an den Umrifs des Hauptbildes."

„Und so lassen sich die Farben bei Gelegenheit der Refraktion aus der Lehre von den trüben Mitteln gar bequem ableiten. Denn wo der voreilende Saum des trüben Nebenbildes sich vom Dunkelen über das Helle zieht, erscheint das Gelbe; umgekehrt wo eine helle Grenze über die dunkele Umgebung hinaustritt, erscheint das

Blaue. Die voreilende Farbe ist immer die breitere. So greift die gelbe über das Licht mit einem breiten Saume; da wo sie aber an das Dunkele grenzt, entsteht, nach der Lehre der Steigerung und Beschattung, das Gelbrothe als ein schmälerer Rand. An der entgegengesetzten Seite hält sich das gedrängte Blau an der Grenze, der vorstrebende Saum aber, als ein leichtes Trübes über das Schwarze verbreitet, läfst uns die violette Farbe sehen, nach eben denselben Bedingungen, welche oben bei der Lehre von den trüben Mitteln angegeben worden, und welche sich künftig in mehreren anderen Fällen gleichmäfsig wirksam zeigen werden.“ 1)

Die Farben des Spektrums sollen also dadurch entstehen, dafs das Sonnenbild durch die Brechung eine Verrückung erleide, dafs nach der Richtung derselben, also, wenn sie aufwärts erfolgt, an dem oberen Rande ein Nebenbild über den Hintergrund greife, und den blau-violetten Saum bewirke, während sich dasselbe Sonnenbild unten jener Verrückung widersetzt, (!) und es dem Hintergrunde gestattet, sich über dasselbe fortzuschieben, und solchergestalt den rothgelben Saum zu erzeugen.

Wie aber soll es zugehen, dafs das Sonnenbild, das hier als ein gleichmäfsiges Helles vorausgesetzt wird, oben voraneilen, unten zurückbleiben, zu gleicher Zeit also mehr und weniger brechbar sein kann? Wie soll es kommen, dafs sich, der Hintergrund mag schwarz oder blendend weifs sein, in beiden Fällen auf gleiche Weise der obere Saum violett, und der untere roth zeigt? Woher soll das Nebenbild des Hintergrundes entstehen, dessen reflektirte Stralen keine Brechung erlitten? Müfste sich nicht vielmehr, den „Grund-Phänomenen“ gemäfs, oben ein rother, und unten ein vio-

1) Farbenl., Bd. I, pag. 87. sqq.

letter Saum zeigen, wenn die Ebene, mit welcher das Bild aufgefangen wird, eine blendend weifse ist, da die im Prisma geschwächten Sonnenstralen als ein trübes Mittel gegen einen solchen Hintergrund anzusehen sind?

Hätte sich Goethe auch nur eine dieser nahe liegenden Fragen vorgelegt, so würde er sogleich erkannt haben, dafs die „Grund-Phänomene", schon wegen der Farben des Spektrums, unmöglich als Principien einer neuen Farbenlehre angenommen werden können. So wenig es jene naturwidrigen Behauptungen daher auch verdienen, weiter widerlegt zu werden, so will ich doch einige Versuche anführen, aus denen die Unwahrheit jener ganzen Erklärungsweise sogleich vor die Augen tritt.

Man nehme ein Prisma (Fig. 26.) *BAC* mit dem rechten Winkel *A*, und den beiden halben rechten *B* und *C*, und lasse durch eine kleine Oeffnung *S* die Sonnenstralen in so schiefer Richtung auf die Seite *BA* fallen, dafs sie von der anderen Seite *AC* nicht durchgelassen, sondern, durch die Seite *BC* beinahe unter rechten Winkeln hindurchgehend, aufwärts nach der weifsen Ebene *MN* reflektirt werden: so wird man das längliche Spektrum *RV* in Uebereinstimmung mit der Newtonschen Theorie, nach welcher die rothen Stralen in der Seite *AB* weniger, als die violetten von der Richtung der einfallenden abgelenkt werden, oben in *R* roth, und unten in *V* violett sehen. Auch hier findet eine aufwärts gerichtete Verrückung des Sonnenbildes Statt; auch hier greift also oben das Nebenbild des Sonnenbildes über den Hintergrund; auch hier bleibt folglich der träge untere Theil des Sonnenbildes zurück, und gestattet dem emsigeren Nebenbilde des Hintergrundes, sich über denselben fortzu-

schieben, und dennoch ist oben der Saum roth, und unten violett! Schon durch dieses einzige Experiment würde also die Goethesche Farbenlehre vernichtet werden.

Dieser Versuch ist noch in einer anderen Hinsicht lehrreich, indem er unwidersprechlich darthut, dafs eine Zersetzung des Sonnenlichtes in seine Farben schon innerhalb des Prisma erfolgt, und somit Goethe'n, der hiergegen an mehreren Stellen seines Werkes mit dem gröfsten Nachdrucke eifert, eines neuen Irrthums anklagt.

Was aber die Nebenbilder betrifft, denen Goethe eine so wichtige Rolle bei der Erzeugung der Farben einräumen will, so werden einige Andeutungen hinreichen, um die Unnatur, der Goethe auch hier huldigt, ins klarste Licht gestellt zu haben.

Es ist bekannt, dafs ein ebener Spiegel von dickem Glase, wegen der wiederholten Reflexion der Stralen von der Vorder- und der belegten Hinterfläche des Glases, eine Reihe von Bildern eines und desselben Gegenstandes zeigt, wenn man das Auge so gegen ihn stellt, dafs die in dasselbe gelangenden Stralen schief einfallen und reflektirt werden; so wie es auch bekannt ist, dafs unter allen Bildern das zweite als das deutlichste erscheint, weil es durch die erste, also mächtigste Reflexion von der Hinterfläche des Glases entsteht. Man reflektire nun mit einem solchen Spiegel das Sonnenlicht in das dunkele Zimmer, und man wird auf einer weifsen Ebene neben dem Hauptbilde eine Reihe von Nebenbildern bemerken, die um so mehr aus einander liegen, je schiefer die Sonnenstralen einfallen, sich zum Theil decken, und desto unkenntlicher werden, je mehr sie sich von dem Hauptbilde entfernen, bis sie sich endlich in dem weifsen Hintergrunde verlieren. Hier haben wir also in der Wirklichkeit die über einander greifenden Nebenbil-

der, die Goethe auf eine unbegreifliche Weise in das Spektrum hineinbringen will, und dennoch bemerkt man auch nicht im entferntesten eine prismatische Farbe, die durch sie erzeugt worden wäre.

Ein anderes Beispiel geben die Doppelbilder des Isländischen Krystalles. Nimmt man einen weifsen Kreis auf schwarzem Hintergrunde, etwa wie er bei Goethe auf der Tafel II *a.* vorkommt, und legt auf diesen Kreis den Krystall so, dafs die stumpfe Ecke dem Auge zugekehrt ist, und sein Hauptschnitt in den vertikalen Durchmesser des Kreises fällt: so erhält man ein Doppelbild, wie das in Fig. 27. vorgestellte, in der Mitte weifs, oben und unten aber in den sichelförmigen Ebenen *AFBC* und *ADBE* grau, weil in diesen das weifse Licht, wegen seiner Zersetzung in gewöhnliche und ungewöhnliche Stralen, nicht mit seiner ganzen Intensität wirken kann, welches allein innerhalb der elliptischen Ebene *ACBE* geschieht, wo sich beide Arten von Stralen mit einander vereinigen. Hier haben wir also wieder über einander greifende Nebenbilder, da sich unten im Goetheschen Sinne der dunkele Hintergrund über das weifse Bild, oben das weifse Bild über den dunkelen Hintergrund gezogen hat. Der ganze Raum *AFBC* müfste also roth oder gelb, der ganze Raum *ADBE* blau oder violett sein, und dennoch sind beide grau.

Eben so unhaltbar ist endlich auch die Erklärung, die Goethe über die farbigen Säume der durch Linsen erzeugten Bilder giebt, und die er auf die „Grund-Phänomene" in folgender Weise zurückführen will:

„Fangen wir das Sonnenbild durch konvexe Gläser auf, so ziehen wir es gegen den Fokus zusammen. Hier mufs, nach den oben ausgeführten Regeln, ein gelber Saum und ein gelbrother Rand entstehen, wenn das Bild auf einem weifsen Papiere aufgefangen wird. Weil aber die-

ser Versuch blendend und unbequem ist, so macht er sich am schönsten mit dem Bilde des Vollmondes. Wenn man dieses durch ein konvexes Glas zusammenzieht, so erscheint der farbige Rand in der gröfsten Schönheit. Denn der Mond sendet an sich schon ein gemäfsigtes Licht, und er kann also um desto ehr die Farbe, welche aus Mäfsigung des Lichtes entsteht, hervorbringen, wobei zugleich das Auge des Beobachters nur leise und angenehm berührt wird."

„Wenn man ein leuchtendes Bild durch konkave Gläser auffafst, so wird es vergröfsert und also ausgedehnt. Hier erscheint das Bild blau begrenzt."

„Beide entgegengesetzten Erscheinungen kann man durch ein konvexes Glas sowohl simultan, als successiv hervorbringen, und zwar simultan, wenn man auf das konvexe Glas in der Mitte eine undurchsichtige Scheibe klebt, und nun das Sonnenbild auffängt. Hier wird nun sowohl das leuchtende Bild, als der in ihm befindliche schwarze Kern zusammengezogen, und so müssen auch die entgegengesetzten Farberscheinungen entstehen. Ferner kann man diesen Gegensatz successiv gewahr werden, wenn man das leuchtende Bild erst bis gegen den Fokus zusammenzieht, da man denn Gelb und Gelbroth gewahr wird: dann aber hinter dem Fokus dasselbe sich ausdehnen läfst, da es denn sogleich eine blaue Grenze zeigt." [1])

Der rothgelbe Saum soll also entstehen, wenn sich das Sonnenbild zusammengezogen, verkleinert, und das Nebenbild des Hintergrundes sich am Rande über dasselbe geschoben hat; der blauviolette hingegen, wenn sich das Sonnenbild ausgedehnt, vergröfsert, und über den Hintergrund hinübergegriffen hat. Ein einziger Versuch, der nur in einer etwas anderen Weise, als Goethe ihn anstellte, eingerichtet werden darf, reicht jedoch hin, die Unwahrheit, die auch in diesen Erklärungen liegt, überzeugend darzuthun.

1) Farbenl., Bd. I, pag. 119.

Man stelle einen weifsen Kreis auf schwarzem Hintergrunde, wie dergleichen auf der Tafel II a. bei Goethe vorkommen, aufserhalb der vorderen Brennweite eines Sammelglases auf, und entferne das Auge so weit von demselben, dafs man das Bild des Kreises in der Luft schwebend, umgekehrt und vergröfsert sieht. Auch hier würde also das weifse Bild über einen, nicht blofs eingebildeten, sondern wirklich schwarzen Hintergrund greifen, und dennoch ist der Saum nicht, wie es nach der Goetheschen Erklärung geschehen müfste, blau oder violett, sondern er ist rothgelb. Man nehme ferner den schwarzen Kreis auf weifsem Grunde, der auf eben jener Tafel vorkommt, und bringe ihn und das Auge in dieselbe Stellung gegen die Linse, und man wird den Saum nicht rothgelb finden, wie es doch sein müsste, da der schwarze Kreis vergröfsert erscheint, sondern er ist blau. Alles ist hier also mit der verschiedenen Brechbarkeit in eben so vollkommener Uebereinstimmung, wie es mit der neuen Farbenlehre im entschiedensten Widerspruche steht.

Da ich hiermit das Wesentliche der Goetheschen Farbenlehre mitgetheilt habe, und dies alles sich als durchaus unhaltbar erwiesen hat, so darf ich die übrigen Inconsequenzen, auf die man sonst noch in jener Lehre stöfst, um so mehr übergehen, weil ich durch eine weitere Widerlegung derselben den Leser zu ermüden fürchte. Ueberall, wo Goethe die das Spektrum betreffenden Versuche in einer anderen Weise, als der oben angegebenen anstellt, sieht er sich von seinen vermeintlichen Grund-Phänomenen verlassen. So bringt er z. B. in die weifse Mitte des Spektrums, gleich hinter dem Prisma, einen schmalen undurchsichtigen Gegenstand, wie in der zweiten Figur

seiner Tafel XIII, und findet, dafs sich, wenn er das Licht unmittelbar hinter demselben mit einem undurchsichtigen Körper auffängt, bei einer aufwärts gerichteten Brechung oben ein rothgelber, und unten ein blauvioletter Saum zeigt. Da nun hier nicht irgend eine Verrückung eines Bildes Statt findet, welches doch Goethe als eine nothwendige Bedingung, wenn Farben durch eine Brechung entstehen sollen, in seinen übrigen Erklärungen angegeben hatte: so hilft er sich damit, dafs er auch den Rändern des Gegenstandes die Kraft beilegt, Farben erzeugen zu können, selbst wenn jene Hauptbedingung nicht erfüllt sein sollte. Und ein solches Häufen von immer neuen Bedingungen, von denen die eine mit der anderen in gar keiner Beziehung steht, nannte Goethe eine Farbenlehre!

In solcher Weise verfährt die Newtonsche Theorie nicht. Sie stellt die verschiedene Brechbarkeit als eine unwiderlegliche Thatsache hin, und mit diesem ihrem einzigen Principe beherrscht sie das ganze Reich der Farben. So liefert denn auch jener von Goethe angegebene Versuch einen neuen Beweis nicht blofs für die verschiedene Brechbarkeit, sondern auch dafür, dafs das Sonnenlicht durch die Brechung in Farben zersetzt werde, und die weifse Mitte nur durch eine Vermischung dieser Farben entstehe. An dem oberen Rande des, in diese Mitte gehaltenen Gegenstandes, wo die höher gerichteten grünen, blauen und violetten Stralen oberhalb desselben vorbeigehen, mufs daher ein rothgelber, an dem unteren Rande aus eben diesem Grunde ein blauvioletter Saum entstehen.

So beging also Goethe ein Unrecht, als er Newton'n vor aller Welt der Unredlichkeit und absichtlichen Täuschung, und alle Naturforscher der Erde

einer einfältigen Leichtgläubigkeit anklagte. Newton mufste vielmehr von der Wahrheit seiner Erklärung der Farbenerscheinungen eben so durchdrungen sein, wie es alle diejenigen waren und sind, die seine Theorie kannten und kennen. Wenn auch die Nachwelt gern bereit sein wird, unserem grofsen Dichter alle Irrthümer zu verzeihen, denen er aus Mangel an einer gründlichen Kenntnifs der Wissenschaft, die er umgestalten wollte, unterlag: so wird sie doch nie die schonungslose Weise, in welcher er einen der ausgezeichnetsten und edelsten Männer angriff, zu rechtfertigen im Stande sein, zumal da er es bei seiner tiefen Menschenkenntnifs wissen mufste, dafs man um so mehr in Gefahr ist, sich von der Wahrheit zu entfernen, je mehr man sich leidenschaftlichen Anschuldigungen hingiebt.[1])

1) Zu den entschiedenen Gegnern Newton's gehört auch Hegel, der unter anderen Urtheilen über ihn auch folgendes (Encykl. der philos. Wiss. Heidelberg, 1827. pag. 305.) fällt:

„Nach der bekannten Newtonischen Theorie besteht das weifse, d. i. farblose Licht aus fünf oder aus sieben Farben; denn genau weifs dies die Theorie selbst nicht. Ueber die Barbarei vors erste der Vorstellung, dafs auch beim Lichte nach der schlechtesten Reflexions-Form, der Zusammensetzung, gegriffen worden ist, und das Helle hier sogar aus sieben Dunkelheiten bestehen soll, wie man das klare Wasser aus sieben Erdarten bestehen lassen könnte, kann man sich nicht stark genug ausdrücken; so wie über die Ungeschicklichkeit und Unrichtigkeit des Newtonischen Beobachtens und Experimentirens, nicht weniger über die Fadheit desselben, ja selbst, wie Goethe gezeigt hat, über dessen Unredlichkeit. Eine der auffallendsten, so wie einfachsten Unrichtigkeiten ist die falsche Versicherung, dafs ein, durch ein Prisma bewirkter, einfärbiger Theil des Spektrums, durch ein zweites Prisma gelassen, auch wieder nur einfärbig erscheine. Alsdann über die gleich schlechte Beschaffenheit des Schliefsens, Folgerns und Beweisens aus jenen unreinen empirischen Daten. Newton gebrauchte nicht nur das Prisma, sondern der Umstand war ihm auch nicht entgangen, dafs zur Farbenerzeugung durch dasselbe eine Grenze von

Die Farben-Terminologie Goethe's.

Nicht ganz ohne Nutzen ist es indefs für die Optik gewesen, dafs ein so hochbegabter Mann, wie Goethe, ihr einen bedeutenden Theil seines Lebens mit Vorliebe widmete, nicht sowohl, weil die Newtonsche Theorie in Folge seiner Widersprüche nach allen Richtungen hin von neuem geprüft worden ist, als viel-

Hell und Dunkel erforderlich sei, und doch konnte er jenes, als wirksam zu trüben, übersehen. Nach seiner Art zu schliefsen, thut der Bildhauer mit Meifsel und Hammer die Statue aus dem Marmorblocke nur aufdecken, in dem sie, wie der Kern in der Nufs, bereits fertig und abgesondert lag. Hierauf endlich insbesondere über die Gedankenlosigkeit, mit der eine Menge der unmittelbaren Folgerungen, z. B. die Unmöglichkeit achromatischer Fernröhre, aufgegeben worden, und doch die Theorie selbst behauptet wird. Zuletzt aber über die Blindheit des Vorurtheils, dafs diese Theorie auf etwas Mathematischem beruhe, und als ob die, zum Theil selbst falschen und einseitigen Messungen, so wie die in die Folgerungen hineingebrachten quantitativen Bestimmungen irgend einen Grund für die Theorie und die Natur der Sache selbst abgäben, ja selbst nur den Namen von Mathematik verdienten."

„Ein Hauptgrund, warum die eben so klare, als gründliche und gelehrte Goethesche Beleuchtung dieser Finsternifs im Lichte nicht eine wirksamere Aufnahme erlangt hat, ist ohne Zweifel dieser, weil die Gedankenlosigkeit und Einfältigkeit, die man eingestehen sollte, gar zu grofs ist. Statt dafs sich diese ungereimten Vorstellungen vermindert hätten, sind sie in den neuesten Zeiten auf die Malusschen Entdeckungen, noch durch die Polarisation des Lichtes, und gar durch die Viereckigkeit der Sonnenstralen, durch eine links rotirende Bewegung rother, und eine rechts rotirende blauer Lichtkügelchen, durch die wieder aufgenommenen Newtonischen *Fits*, die *Accès de facile transmission* und *Accès de facile reflexion*, und weiteren metaphysischen Galimathias vermehrt worden. — Ein Theil dieser Vorstellungen entsprang auch hier aus der Anwendung von Differential-Formeln auf Farbenerscheinungen, indem die guten Bedeutungen, welche Glieder dieser Formeln in der Mechanik haben, unstatthafter Weise auf Bestimmungen eines ganz anderen Feldes übertragen worden sind."

Man findet hier also dieselben Schmähungen, die Goethe sich so ungerechter Weise erlaubt hatte, noch einmal ausgesprochen.

mehr, weil er sich um die Geschichte und Terminologie der Farbenlehre ein anzuerkennendes Verdienst erworben hat. Die gleichartigen, und früher zum Theil weniger beachteten Farbengattungen hat er unter so passenden Namen zusammengefaſst, daſs sie immer mehr Eingang in die optischen Werke finden.

So sind die Ausdrücke „subjektive und objektive Farbenerscheinungen“, wenn die farbigen Bilder entweder unmittelbar auf die Netzhaut fallen, oder erst auf eine Fläche entworfen werden, ehe sie ins Auge gelangen, in Deutschland wenigstens überall gebräuchlich geworden.

Die in dem Newtonschen Farbenkreise (Fig. 8.) einander gegenüber liegenden Farben Roth und Grün, Orange und Blau, Gelb und Violett, die man sonst, unter der Voraussetzung dreier Grundfarben, komplementäre oder Ergänzungs-Farben nennt, heissen bei Goethe entgegengesetzte oder geforderte.

Unter dem Namen der katoptrischen Farben faſst Goethe alle diejenigen zusammen, die bei zurückgeworfenem Lichte entstehen, die Schillerfarben also, die eine polirte und leicht geritzte Silber- oder Stahlplatte zeigt; die Perlmutter-Farben; die changirenden Farben der Vogelfedern, der Spinnenfäden, Haare und dergleichen; die Farben endlich, die eine feine Stahlsaite zeigt, wenn man sie, verworren durch einander laufend, wie sie es ist, wenn sie von der Rolle abgenommen wird, in das Sonnenlicht legt.

Physiologische Farben nennt Goethe diejenigen, die sich unter gewissen Umständen im gesunden Auge selbst erzeugen, und unterscheidet sie von den pathologischen, die in einem kranken Auge zu entstehen pflegen. Weniger angemessen nannte man sonst

die physiologischen Farben imaginäre oder phantastische, zufällige (*couleurs accidentelles*) oder Scheinfarben.

Unter dem Namen der paroptischen Farben begreift Goethe die durch Beugung bewirkten, die man sonst schon perioptische genannt hatte.

Zu den epoptischen Farben endlich rechnet Goethe nicht bloſs die Newtonschen Ringe, sondern auch die Farben, die man zu bemerken pflegt, wenn in einer durchsichtigen Masse ein Sprung entstand, oder Lamellen sich lostrennten, wenn eine Glasfläche oder ein geschliffener Stein angehaucht wurde, und wenn Häutchen von Oel auf dem Wasser, besonders von Firniſs auf Scheidewasser schwimmen.

Unter diesen Farben hat Goethe am meisten den physiologischen seine Aufmerksamkeit gewidmet.[1] Seit Kircher hatten zwar schon Andere auf diese Farben, und besonders auf die blauen Schatten, die sich an heiteren Tagen des Morgens und Abends zeigen, die Aufmerksamkeit gelenkt; keinem war es jedoch gelungen, so viele Beispiele, wie man sie bei Goethe findet, unter denselben Gesichtspunkt zu bringen.

Zuerst scheint Otto v. Guericke auf die blauen Schatten aufmerksam gemacht zu haben. Indem er die blaue Farbe des Himmels auf die Weise, die wir schon aus der Goetheschen Lehre kennen, durch eine Mischung von Licht und Schatten erklärt, bemerkt er, daſs man auch in anderen Fällen, sobald Licht und Finsterniſs sich mischen, Blau erhalte. Man dürfe nur des Morgens zwischen das Licht einer Kerze und eine weiſse Ebene einen dünnen Gegenstand bringen,

1) Farbenl., Bd. I. pag. 1. sqq.

und man werde den Schatten nicht schwarz, sondern blau finden.[1])

Erst in der Mitte des vorigen Jahrhunderts wurde die Aufmerksamkeit der Naturforscher wieder auf jene blauen Schatten durch Buffon geleitet, der aus einer Reihe von Beobachtungen fand, dafs der Grundton der Schattenfarbe, wenn die Sonne bei ihrem Auf- und Untergange stark vergröfsert und gelbroth ist, zwar jedesmal blau, jedoch mannigfach modificirt erscheine.

Buffon beobachtete auch die Farben, die sich im Auge erzeugen, wenn es einige Zeit hindurch auf einen blendenden Gegenstand gerichtet gewesen ist. Sahe er unverwandt auf ein rothes Viereck auf weissem Grunde, und warf er dann die Augen auf den weifsen Hintergrund, so glaubte er immer noch das Viereck zu sehen, aber nicht in rother, sondern grüner Farbe. Das Umgekehrte fand Statt, sobald er ein grünes Viereck auf weifsem Grunde nahm. Er wiederholte diese Versuche mit anderen Farben, und fand jedesmal, dafs die vom Auge erzeugte die Ergänzungsfarbe von der des Gegenstandes war.[2])

Dieser Theil der Farbenlehre ist es, den Goethe durch mehrere sinnreiche Versuche erweitert hat, unter denen die bemerkenswerthesten folgende sind:

1. Richtet man die Augen des Morgens beim Erwachen, wenn sie für Lichteindrücke am empfänglichsten sind, einige Zeit hindurch unverwandt auf ein Fensterkreuz, und schliefst sie dann: so ist das in ihnen erzeugte Bild des Kreuzes anfänglich dunkel, und der Scheibenraum hell. Blickt man aber, während dieser Eindruck noch dauert, auf eine hellgraue

1) *Experimenta Magd. Amst.*, 1672., pag. 142.
2) *Hist. de l'acad. des sciences*, 1743., pag. 1. sqq.

Fläche, so erscheint umgekehrt das Kreuz hell, und der Scheibenraum dunkel.

2. Hält man einen schwarzen Kreis vor eine graue Fläche, und blickt, nachdem er fortgenommen ist, auf die Stelle desselben unverwandt hin: so sieht man sie heller, als die übrige Fläche. Ist dagegen die Scheibe weifs, so erscheint die Stelle, die sie einnahm, dunkeler.

3. Betrachtet man ein schwarzes Bild auf einer hellgrauen Fläche, so bemerkt man bald, besonders wenn die Richtung des Blickes ein wenig geändert wird, einen hellen Rand um das Bild.

4. Hält man eine weifse Tafel dem Vollmonde entgegen, und läfst den doppelten, von einer brennenden Kerze und dem Vollmonde geworfenen Schatten eines dünnen Stabes auf die Tafel fallen: so ist jener, durch die Kerze entstandene und von dem Vollmonde erleuchtete blau, und dieser von der Kerze erleuchtete gelbroth.

5. Wird ein farbiges Glas von einiger Stärke so gegen ein Fenster gehalten, dafs dieses sich auf der Vorder- und Hinterseite des Glases abspiegeln kann: so erscheint das eine Bild in der Ergänzungsfarbe des anderen. Ist das Glas grün, bei welcher Farbe der Versuch am sichersten gelingt, so ist das von der Vorderfläche kommende Bild roth, und das andere grün.

6. Stellt man in einem, durch das Tageslicht nicht erhellten Zimmer zwei brennende Kerzen in einer Entfernung von etwa anderthalb Fufs von einander, und in demselben Abstande vom Auge auf einen Bogen weifsen Papieres, und bringt man hierauf ein grünes Glas vor die eine Kerze, so dafs dadurch das ganze Papier eine grünliche Farbe erhält:

so erscheint der von dem grünen Lichte erleuchtete Schatten eines dünnen Stabes, den man in der Mitte des Papieres aufrecht hingestellt hat, grün; der andere Schatten aber, der von dem farblosen Lichte erleuchtet wird, roth. Ist das Glas blau, so sind die Schatten blau und orangefarben; ist es gelb, so sind sie gelb und violett.

7. Läfst man in ein möglichst verdunkeltes Zimmer durch eine Oeffnung, die zwei bis drei Zoll breit ist, das Sonnenlicht auf eine weifse Scheibe fallen, auf welche man unverwandt hinblickt, und schliefst man hierauf die Oeffnung: so sieht man einen Kreis vor sich schweben, der in der Mitte gelblich und am Rande roth ist. Nach und nach breitet sich dieser rothe Rand immer mehr nach innen hin aus, bis endlich der ganze Kreis roth, zugleich aber auch sein Rand blau erscheint. Nun ist es der blaue Rand, der sich immer mehr vergröfsert, bis er zuletzt die ganze Scheibe einnimmt, die hierauf kleiner und unfarbig zu werden anfängt. Hier stellt sich also die Netzhaut gegen den gewaltsamen äusseren Eindruck nur allmählig wieder her, indem das anfänglich blendend weifse Bild erst durch die hellere rothe Farbe zur dunkleren blauen übergeht.

8. Zu dieser Farbengattung gehören auch der röthliche Schein, in dem wir die Gegenstände erblikken, wenn wir eine grüne Brille von den Augen nehmen; die grüne Farbe dunkeler Objekte, wenn wir lange im Sonnenlichte auf eine weifse Fläche gesehen haben; die röthliche Farbe endlich, die sich in einem vom Schnee geblendeten Auge zu erzeugen pflegt.

„Wir erkennen hier", sagt Goethe, „den stillen Widerspruch, den jedes Lebendige zu äufsern gedrungen ist, wenn ihm irgend ein bestimmter Zustand ge-

boten wird. So setzt das Einathmen schon das Ausathmen voraus, und umgekehrt. Es ist die ewige Formel des Lebens, die sich auch hier äufsert. Wie dem Auge das Dunkele geboten wird, so fordert es das Helle; es fordert Dunkel, wenn man ihm Hell entgegenbringt, und zeigt eben dadurch seine Lebendigkeit, sein Recht, das Objekt zu fassen, indem es etwas, das dem Objekte entgegengesetzt ist, aus sich selbst hervorbringt.“

Die von Grotthufs gegebene Erklärung [1]) des Entstehens dieser Farben ist gewifs eine sehr befriedigende. Die Empfänglichkeit unseres Auges für Lichteindrücke wird, wie die tägliche Erfahrung lehrt, durch blendendes Licht geschwächt, durch die Finsternifs verstärkt. Sehen wir des Morgens beim Erwachen, wenn das Auge am empfänglichsten für das Licht ist, auf das dunkele Fensterkreuz, so bleibt die Stelle der Netzhaut, auf welche das Bild desselben fällt, ungereizt, während auf den übrigen Theil der Netzhaut der helle Scheibenraum blendend einwirkt. Es wird daher, wenn wir die Augen auf eine hellgraue Fläche werfen, jene ungereizte Stelle der Netzhaut für das Licht dieser Fläche empfänglicher, die geblendete aber unempfänglicher, es wird das Fensterkreuz hell, und der Scheibenraum dunkel sein.

Dieselbe Erklärung wendet Grotthufs auch auf die farbigen Schatten an. Haben wir längere Zeit hindurch ein rothes Viereck betrachtet, so ist die Stelle der Netzhaut, auf welche das Bild fiel, für Roth unempfänglich geworden, um so empfänglicher dagegen für die übrigen Farben des weifsen Lichtes, für Gelb und

1) Schweigger's Journal für Chemie und Physik, Bd. III, vom Jahre 1811., pag. 148.

Blau. Werfen wir daher die Augen von dem rothen Vierecke auf eine weiſse Fläche, so sind es nur die grünen (gelben und blauen) Stralen ihres weiſsen Lichtes, für welche jene Stelle der Netzhaut Empfänglichkeit behalten hat; das Viereck erscheint grün. Eben so ist z. B. bei dem unter 6. angegebenen Versuche das Auge durch die grünliche Farbe des Papieres zwar für diese, nicht aber für ihre Ergänzungsfarbe geschwächt; von dem Schatten, der von dem farblosen Lichte erleuchtet wird, nimmt es daher nur die rothen Stralen auf.

Man sieht, wie ungezwungen sich alle übrigen, oben angeführten Beispiele hiernach erklären lassen, wie aber auch zugleich die physiologischen Farben einen neuen Beweis für die Wahrsheinlichkeit dreier Grundfarben liefern.

Neuere Entdeckungen über die verschiedenen Eigenschaften der prismatischen Farben.

Daſs das Sonnenlicht nicht, wie Goethe meint, einfach und untheilbar sei, daſs vielmehr die von Newton entdeckten Eigenschaften der Farben, in welche es durch eine Brechung zersetzt wird — eine verschiedene Brechbarkeit und Helligkeit, und verschiedene Intervalle der Anwandlungen — nicht die einzigen sind, durch welche sie sich wesentlich von einander unterscheiden, ist zwar erst im Laufe dieses Jahrhunderts auſser Zweifel gesetzt worden; es stehen indeſs diese Entdeckungen in so innigem Zusammenhange mit der Newtonschen Farben-Theorie, daſs ich sie hier schon anführen will.

Daſs im Betreff der Licht-Intensität die geometrische Mitte des Spektrums mit der optischen nicht zusammenfalle, daſs Orange und Gelb das meiste Licht

haben, und dafs man daher die Bilder der Objekte nicht in den Vereinigungspunkt der Stralen von mittlerer Brechbarkeit, die auf der Grenze von Grün und Blau liegen, sondern vielmehr in das glänzendste Gelb, das dem Orange näher, als dem Grün sei, zu setzen habe, ist schon, wie wir bereits wissen, von Newton bemerkt worden.[1]) Während sich dieser hierbei aber blofs auf den Augenschein verlassen hatte, stellten William Herschel und Fraunhofer, um die Licht-Intensität der Farben mit einander vergleichen zu können, zuverlässigere Versuche an, durch welche sie zugleich von der verschiedenen Brechbarkeit des Lichtes aufs neue überzeugt wurden.

Herschel liefs auf ein Objekt, das er durch ein Mikroskop mit 42maliger Vergröfserung betrachtete, die prismatischen Farben der Reihe nach fallen, und fand die Behauptung Newton's, dafs Gelb unter allen Farben das meiste Licht besitze, zwar bestätigt, doch schien es ihm, als ob die leuchtenden Pünktchen auf der Oberfläche des Objektes, zu welchem sich ein eiserner Nagel bei seiner Dichtigkeit und Schwärze am tauglichsten zeigte, dann jedesmal am hellsten waren, wenn die auf dasselbe fallende Farbe nicht sowohl auf der Grenze zwischen Gelb und Orange, sondern vielmehr auf der anderen zwischen Gelb und dem beginnenden Grün lag. Die verschiedene Brechbarkeit des Lichtes aber ergab sich zugleich daraus, dafs er für eine jede Farbe eine andere Stellung der Okular-Linse, um deutlich sehen zu können, wählen mufste.[2]) Fraunhofer dagegen fand, so wie Newton behaup-

1) *Optice*, lib. I, pars 1., prop. 7., pag. 69.

2) Gilbert's Ann., Bd. 7., pag. 141. William Herschel's „Untersuchungen über die Natur der Sonnenstralen", übers. von Harding. Celle, 1801.

tet hatte, die hellste Stelle des Spektrums zwischen Orange und Gelb; ich mufs jedoch, ehe ich die Vorrichtung, deren er sich bediente, beschreiben kann, erst einer anderen Entdeckung dieses berühmten Optikers erwähnen, durch welche er eine jede Stelle des Spektrums genauer, als es bis dahin möglich gewesen war, bestimmen konnte.

Als Fraunhofer, zur Berechnung achromatischer Objektive, die von Newton angegebenen Brechungsverhältnisse der prismatischen Farben prüfen wollte, und dabei die Uebergänge aus einer Farbe in die andere zu wenig scharf begrenzt fand, um zuverlässige Resultate erhalten zu können, änderte er das Verfahren Newton's dahin ab, dafs er das Spektrum in das Gesichtsfeld eines Theodolith-Fernrohres fallen liefs. Als er ein Prisma von Flintglas, mit einem brechenden Winkel von 60 Graden, vor das Objektiv eines solchen Fernrohres gestellt, und die Versuche in mannigfacher Weise abändernd, die Lichtöffnung sehr schmal genommen hatte, so dafs ihre Breite nur ungefähr 15 Sekunden, und ihre Höhe 36 Minuten betrug, während das Prisma 24 Fufs von derselben entfernt war: wurde er in dem Spektrum eine Menge stärkerer und schwächerer Linien gewahr, die insgesammt dunkeler waren, als der übrige Theil des Farbenbildes, und von denen einige ganz schwarz zu sein schienen. Es traten aber diese Linien, bei unverrücktem Okulare, nicht in allen Theilen des Spektrums mit gleicher Schärfe hervor. War das Okular so gestellt, dafs sie im rothen Theile des Spektrums deutlich erschienen, so mufste es tiefer hineingeschoben werden, wenn sie im violetten Theile deutlich werden sollten. Auch verschwanden die Linien, wenn die Lichtöffnung merklich breiter gemacht wurde, die feineren schon,

wenn sie über 40 Sekunden, die stärkeren aber erst, wenn sie mehr, als eine Minute breit war. Bei anderen brechenden Mitteln, als Glas, behielten sie jedoch, wenn anders die Quelle des Lichtes ungeändert blieb, dieselbe verhältnifsmäfsige Aufeinanderfolge in denselben Theilen des Spektrums bei.

In Fig. 28. sind nur die besonders hervortretenden Linien angedeutet, da es, zumal bei der Kleinheit der Zeichnung, unausführbar sein würde, sie alle in der verhältnifsmäfsigen Breite neben einander zu zeichnen. In *A* ist eine stärkere Linie, die jedoch nicht die Grenze des Roth bildet, das noch ein wenig über *A* hinausreicht. Eben so sind in *B*, *C*, *D*, *E*, *F*, *G* und *H* die Linien stärker und dunkeler. Der feineren und weniger dunkelen zählte Fraunhofer 9 zwischen *B* und *C*, 30 zwischen *C* und *D*, 84 zwischen *D* und *E*, 76 zwischen *E* und *F*, 185 zwischen *F* und *G*, und 190 zwischen *G* und *H*, zwischen *B* und *H* also 574 solcher Linien.

Dies alles zeigte sich jedoch nur beim Sonnenlichte. Liefs Fraunhofer das Licht einer Lampe durch eine eben so schmale Oeffnung auf das Prisma fallen, so bemerkte er nur eine einzige hellere Linie, die sich an der Stelle zeigte, an welcher beim Sonnenlichte *D* liegt.

Aehnliche Linien, jedoch in ganz anderer Ordnung und Vertheilung, wurden auch in dem Farbenbilde bemerkbar, das durch das Licht der Venus und des Sirius erzeugt war, so dafs jedem Lichte sein eigenes System dieser Linien anzugehören scheint. [1])

1) Gilbert's Ann., Bd. 56., pag. 278. Auch diese Entdeckung hat dasselbe Schicksal, wie beinahe alle übrigen in der Optik gehabt. Schon funfzehn Jahre früher hatte Wollaston zwei dunkele Linien auf der Grenze zwischen Grün und Blau bemerkt, als

Nachdem also Fraunhofer in diesen dunkelen Linien ein Mittel, jede Stelle des Spektrums genau bestimmen zu können, entdeckt hatte, war es folgende Vorrichtung, durch welche er nicht allein die Behauptung Newton's, dafs das prismatische Gelb nach der Grenze des Orange hin am hellsten sei, bestätigt fand, sondern auch die Licht-Intensität der Farben durch Zahlen ausdrücken konnte. Vor die Okular-Linse eines Theodolithen stellte er an den Ort, wohin das Bild des Objektives fiel, einen kleinen, unter einem Winkel von 45° gegen die Achse des Fernrohres geneigten Plan-Spiegel so, dafs der eine Rand desselben, der scharf begrenzt war, auf dieser Achse vertikal stand, das Gesichtsfeld also halbirte. An die eine Seite des Okular-Rohres war ein, der Länge nach mit einem Einschnitte versehenes Rohr angeschraubt, das in senkrechter Richtung gegen den scharfen Rand des Spiegels stand. In diesen Einschnitt pafste ein anderes Rohr, welches in der Achse des weiteren, in das es hineingeschoben war, eine kleine Lampe trug, und an der Seite eine runde Oeffnung hatte, durch welche das Licht der Lampe auf den Spiegel fallen konnte, so dafs, wenn ein Prisma vor das Objektiv des Fernrohres gebracht war, in der einen Hälfte des Gesichtsfeldes der durch die Lampe erleuchtete Spiegel, und in der anderen eine der prismatischen Farben erschien. So konnte Fraunhofer, der es in seiner Gewalt hatte, die in dem Einschnitte bewegliche Lampe jedesmal so zu stellen, dafs ihr Licht und das irgend einer pris-

er eine sehr schmale Lichtöffnung durch ein Prisma von Flintglas betrachtete; er unterliefs es jedoch, diese zufällig gemachte Entdeckung weiter zu verfolgen.

matischen Farbe sein Auge gleich stark afficirten, aus dem umgekehrten Verhältnisse der Quadrate der Entfernungen von dem Spiegel, in welchen die Flamme für zwei verschiedene Farben stehen mufste, das gerade Verhältnifs ihrer Licht-Intensitäten ableiten. Es wurden aber die Beobachtungen besonders dadurch erleichtert, dafs beide Licht-Intensitäten, die der Lampe und der prismatischen Farbe, dann einander am nächsten kamen, wenn der scharfe Rand des Spiegels am undeutlichsten erschien, und dafs beide um so mehr von einander verschieden waren, je deutlicher sich eben dieser Rand zeigte, weil, wenn das Lampenlicht heller war, die Farbe des Spektrums, und wenn diese heller war, der Spiegel im Schatten zu liegen schien.

Dies ist das Verfahren, durch welches Fraunhofer die Lichtstärke (Fig. 28.)

bei *B*	(Mitte des Roth)	= 32
- *C*	(Ende desselben)	= 94
- *D*	(Orange)	= 640
- *E*	(Grenze des Gelb und Grün)	= 480
- *F*	(Grenze des Grün und Blau)	= 170
- *G*	(Indigo)	= 31
- *H*	(Violett)	= 5

fand, wenn die gröfste Licht-Intensität, die sich zwischen *D* und *E* zeigte, = 1000 gesetzt wird. Diese hellste Stelle des Spektrums konnte Fraunhofer zwar nicht genau, aber doch in so weit ermitteln, dafs sie um $\frac{1}{4}$ oder höchstens $\frac{1}{3}$ der Länge *DE* von *D* nach *E* hin, also der Grenze zwischen Gelb und Orange näher liegt, als der Grenze zwischen Gelb und Grün. Nimmt man jene Zahlen zu Ordinaten, und die zugehörigen Längen des Spektrums zu Abscissen einer Kurve, wie dies in der Figur geschehen ist: so läfst sich die

grofse Verschiedenheit in der Helligkeit der Farben besser übersehen.[1])

So wie sich bei den hier beschriebenen Versuchen die verschiedene Brechbarkeit des Lichtes überall von neuem kund gab: so folgt endlich dieselbe auch daraus, dafs jeder Farbe verschiedene chemische Eigenschaften zukommen.

Als William Herschel untersuchte, welche Art gefärbter Gläser die tauglichste sei, um durch dieselben, wenn sie vor das Okular eines Teleskopes gebracht sind, ohne Blendung der Augen die Sonne beobachten zu können, empfand er hinter einigen dunkleren eine gröfsere Wärme, als hinter anderen helleren,[2]) und wurde dadurch auf die Vermuthung geführt, dafs die erwärmende Kraft der Farben nicht in nothwendigem Zusammenhange mit der Intensität ihres Lichtes stehen dürfte.[3])

Um hierüber einen näheren Aufschlufs zu erhalten, befestigte Herschel in einen Rahmen, der sich unter einem beliebigen Winkel gegen den Horizont stellen liefs, ein Stück Pappe, in welche eine längliche Oeffnung eingeschnitten war. Vor dieser Oeffnung wurde in einem verfinsterten Zimmer ein Prisma so aufgestellt, dafs seine Achse der Länge derselben parallel war, und der Rahmen so lange geneigt, bis die aus dem Prisma austretenden farbigen Stralen in senkrechter Richtung durch die Oeffnung gingen, hinter welcher sich drei empfindliche Thermometer mit ge-

1) Gilbert's Ann., Bd. 56., pag. 297.

2) *Ibid.*, Bd. 7., pag. 137.

3) Der erste, der eine ungleiche erwärmende Kraft in den verschiedenen Farben des Spektrums wahrnahm, war Rochon. Nach seinen Versuchen glaubte er das Maximum der Wärme in die gelben Stralen setzen zu müssen. Gilbert's Ann., Bd. 46., pag. 381.

schwärzten und gleichen Kugeln befanden, die weiter, als es gewöhnlich geschieht, von den Skalen abstanden. Mittelst dieser Vorrichtung erhielt aber Herschel folgende Resultate. Wurde eins der Thermometer in eine Farbe gehalten, während die beiden anderen im Schatten der Pappe lagen: so stieg das Quecksilber in jenem, während es in diesen seinen Stand unverändert behielt, — ein Beweis, dafs die Wärme lediglich durch die Farben erregt wurde. Liefs er diese nach einander auf jede Thermometer-Kugel fallen, so stieg das Quecksilber binnen 10 Minuten in den rothen Stralen um $6^0\frac{7}{8}$, in den grünen um $3^0\frac{1}{4}$, und in den violetten um 2^0, im Mittel aus acht Reihen von Versuchen. Nahm er kleinere Thermometer, so blieb zwar das Verhältnifs dieser Zahlen beinahe dasselbe; das Quecksilber erreichte aber nicht einen so hohen Stand, wie bei gröfseren, welches ohne Zweifel von der zuströmenden kälteren Luft herrührte, die auf kleinere Thermometer-Kugeln stärker einwirken kann. Das Mittel aus beiden Reihen von Versuchen, die sowohl mit den gröfseren, als auch kleineren Kugeln angestellt wurden, gab endlich dies Resultat, dafs die Zahlen der Grade, bis zu welchen das Quecksilber steigt, sich in den rothen, grünen und violetten Stralen sehr nahe, wie $8\frac{1}{2} : 1\frac{1}{2} : 1$ verhalten.

Da sich also Herschel hierdurch überzeugt hatte, dafs das Maximum der Wärme in das rothe Ende des Spektrums fällt: so veranlafste ihn dies, auch zu untersuchen, welchen Einflufs die Nähe des äufsersten Roth auf die Thermometer, wenn er sie aufserhalb des Spektrums hielt, haben würde. Der Apparat, dessen er sich hierzu bediente, bestand in einem, mit weissem Papiere überzogenen Tischchen, auf dem die Thermometer in einer geneigten Ebene lagen, die ge-

rückt werden konnte. Auf dem Papiere hatte er, um die Abstände der Thermometer-Kugeln von dem Ende des Spektrums messen zu können, mehrere gerade Linien, parallel mit der vorderen Kante des Tischchens gezogen, die erstere in einer Entfernung von $\frac{1}{4}$ Zoll von der Kante, die anderen in Abständen von $\frac{1}{2}$ Zoll; diese Linien überdies, um die Entfernungen noch sicherer messen zu können, durch andere, auf ihnen senkrecht stehende durchschnitten. Nachdem hierauf Herschel vor eine längliche Lichtöffnung ein Prisma mit aufwärts gekehrtem brechenden Winkel gestellt hatte, rückte er das Tischchen so, dafs auf das Papier desselben keine anderen farbigen Stralen, als rothe in der Breite von $\frac{1}{4}$ Zoll, also bis an die erste Querlinie heran fallen konnten, die übrigen Farben aber unterhalb des Tischchens lagen. Wurde dann die geneigte Ebene so verschoben, dafs der Mittelpunkt des Schattens, den eine von den, über jene Ebene hervorragenden Thermometer-Kugeln warf, in einen von den Durchschnittspunkten der zweiten Querlinie fiel, die Kugel also $\frac{1}{2}$ Zoll von dem äufsersten rothen Ende des Spektrums entfernt war: so fand Herschel, dafs das Quecksilber in diesem Thermometer nicht so niedrig blieb, wie es in den beiden anderen, aus dem Wirkungskreise der rothen Stralen gänzlich entfernten stand, sondern es stieg vielmehr in 10 Minuten um $6^0\frac{1}{2}$. Rückte er die Kugel bis zur dritten Querlinie fort, liefs sie also 1 Zoll von dem äufsersten Roth abstehen, so stieg das Quecksilber nichtsdestoweniger in derselben Zeit um $5^0\frac{1}{4}$, und bei $1\frac{1}{2}$ Zoll Abstand um $3^0\frac{1}{8}$.

Durch diese Versuche hatte also Herschel die merkwürdige Entdeckung gemacht, dafs in dem Sonnenlichte Stralen vorhanden sind, die, ohne sichtbar zu sein, eine bedeutende wärmeerregende Kraft besitzen;

ja er überzeugte sich sogar bei fortgesetzter Wiederholung dieser Beobachtungen, dafs das Maximum der Wärme nicht in den rothen Stralen, sondern aufserhalb des Spektrums ungefähr ½ Zoll vom äufsersten Roth liege, und dafs in einem Abstande von 1 Zoll die Wärme noch eben so grofs ist, wie in der Mitte der rothen Stralen, dafs aber überhaupt die Grenzen des Wärme-Spektrums auf der einen Seite das äufserste Violett, und auf der anderen ein Punkt sind, der wenigstens 1½ Zoll von dem äufsersten Roth entfernt liegt.

John Leslie, der diese Versuche mit seinem Photometer wiederholte, dessen Einrichtung ich in der Folge beschreiben werde, behauptet zwar, dafs Herschel sich geirrt habe, wenn er unsichtbare, über das äufserste Roth hinaus fallende Wärmestralen von gröfserer Intensität, als sie das rothe Licht besitzt, gefunden haben wollte, und dafs dieser Irrthum durch die Mangelhaftigkeit seines Apparates veranlafst sei, indem wahrscheinlich das rothe Licht, welches auf das Tischchen fiel, die Luft über demselben erwärmt, und so die Thermometer zum Steigen gebracht habe; [1]) es wurde indefs die Herschelsche Entdeckung von Englefield, Berard, Ruhland und Anderen, welche dieselbe in Folge dieser Einwürfe aufs sorgfältigste prüften, im Wesentlichen bestätigt gefunden.

Englefield bediente sich, um den Einwurf, dafs reflektirtes Licht auf Herschel's Thermometer einen Einflufs geübt habe, zu prüfen, eines Apparates, dem ein Vorwurf dieser Art nicht füglich gemacht werden konnte. [2]) Da es hier nur auf eine Untersuchung der

1) Gilbert's Ann., Bd. 10., pag. 88.
2) *Ibid.*, Bd. 12., pag. 399. in einem Briefe an Thomas Young.

mit den homogenen Stralen verbundenen Wärme ankam, so verfinsterte er das Zimmer nicht, sondern brachte das Prisma, das an einen horizontalen Arm befestigt war, der an einem hölzernen Stative höher und niedriger gestellt werden konnte, in das offene Fenster. Hinter dem Prisma stand, in einer Entfernung von ungefähr 3 Fuſs, eine Glaslinse von 4 Zoll Oeffnung und 22 Zoll Brennweite, der gleichfalls mittelst eines hölzernen Statives verschiedene Höhen gegeben werden konnten. Diese Linse mit ihrem Gestelle wurde durch einen weiſsen Pappschirm verdeckt, in den eine so schmale Oeffnung gemacht war, daſs sie immer nur eine Farbe durchlieſs, während die anderen auf den Schirm fielen. Von dem Stative der Linse ging zugleich ein Arm aus, an welchem sich in der Richtung der Achse ein weiſses und polirtes Kartenblatt verschieben lieſs, um den Fokus einer jeden Farbe finden zu können. War dieser ermittelt, so wurde das Kartenblatt um den Durchmesser der Thermometer-Kugel zurückgeschoben, und diese, bloſs mit der Hand gehalten, in den Fokus gebracht. Da das Papier polirt und weiſs war, so konnte sich hier keine Wärme anhäufen, und geschah dies wirklich, so wurde sie immer nur durch die eine Farbe, die durchgelassen war, erregt, und übte daher keinen störenden Einfluſs. Mit diesem Apparate stellte Englefield während des Aprils 1801. fünf Reihen von Versuchen an, deren Resultate ziemlich übereinstimmten, und Herschel's Entdeckung bestätigten. So fand er durch einen dieser Versuche, daſs ein Thermometer mit geschwärzter Kugel stieg:

Im Blau	binnen 3 Minuten um	1° *F*.
- Grün	- - - -	4° -
- Gelb	- - - -	6° -

Im vollen Roth .... binnen $2\frac{1}{2}$ Minuten um 16° *F.*
- äufsersten Roth .... - - - - $15^{\circ}\frac{1}{2}$ -
Ganz aufserhalb des Roth - - - - 18° -

Diese Versuche wurden in der Folge auch von Berard wiederholt, der Herschel's Entdeckung wenigstens in so weit wiederfand, dafs die erwärmende Kraft des Spektrums von dem Violett bis zum Roth fortschreitend zunimmt; das Maximum der Wärme zeigte sich aber nicht aufserhalb des Roth, sondern am äufsersten Ende desselben, wo die Thermometer-Kugel doch noch ganz mit rothen Stralen bedeckt war. Was diese Angabe besonders zuverlässig macht, ist der Umstand, dafs Berard sich, um das Sonnenlicht in das verfinsterte Zimmer zu leiten, eines Heliostates bediente, der dem Laufe der Sonne folgte, so dafs er jede Farbe des Spektrums unverrückt an derselben Stelle hatte, und seine Beobachtungen um so genauer anstellen konnte. [1])

Während alle diese Versuche lediglich auf die verschiedene wärmeerregende Kraft der prismatischen Farben gerichtet waren, und einstimmig das Resultat gaben, dafs die violetten Stralen des Spektrums in dieser Hinsicht bedeutend von den rothen übertroffen werden: machte man beinahe gleichzeitig die Entdek-

1) Gilbert's Ann., Bd. 46., pag. 381. Die Ursache dieser Abweichungen in der Angabe des Ortes der gröfsten Wärme wurde bald nachher von Ruhland („Ueber die polarische Wirkung des gefärbten heterogenen Lichtes, eine im Jahre 1816. von der Königlichen Akademie der Wissenschaften zu Berlin gekrönte Preisschrift". Berlin, 1817.) entdeckt. Indem er in seinem Apparate nichts weiter, als die Prismen änderte, die er von verschiedenen Glasarten, oder auch von Borax nahm, fand er das Maximum der Wärme bald im Roth, bald aufserhalb desselben, ja sogar, wenn nicht solide Prismen genommen, sondern prismatische Gefäfse mit verschiedenen Flüssigkeiten gefüllt wurden, in den gelben Stralen. (pag. 50.)

kung, dafs sich das violette Ende durch andere Eigenschaften vor dem rothen auszeichne. Scheele legte ein mit feuchtem Hornsilber (salzsaurem Silber) bestrichenes Papier in die Farben des Spektrums, und bemerkte, dafs es in der violetten Farbe früher, als in den anderen schwarz wurde.[1]) Sennebier untersuchte das Verhalten der vegetabilischen Stoffe gegen die Farben des Spektrums, und fand gleichfalls, dafs weifse Pflanzen sich früher im violetten Lichte, als in jeder anderen Farbe schwärzen.[2]) Auch Ritter, Wollaston, Berard und Goethe widmeten ihre Aufmerksamkeit diesen interessanten Untersuchungen, und fanden nicht allein Scheele's Entdeckung bestätigt, sondern auch im Betreff der chemischen Wirkungen ähnliche Eigenschaften an dem violetten Ende des Spektrums, wie sie von Herschel am rothen in Hinsicht auf die Wärmeerregung bemerkt worden waren.

Als Ritter im Februar 1801. seine Untersuchungen über die chemische Kraft der violetten Stralen begann, überzeugte er sich zwar auch, dafs sich das Hornsilber im violetten Lichte früher, als in jeder anderen Farbe schwärze, fand jedoch, dafs eine noch schnellere Reduction (wofür er mit Scheele die Erscheinung hielt) dieses Salzes aufserhalb des Violett durch unsichtbare Stralen bewirkt, und dafs die Schwärzung desselben durch das andere Ende des Spektrums, im Orange und Roth, zum Theil wieder aufgehoben werde.[3])

1) Gilbert's Ann., Bd. 7., pag. 149. Scheele's sämmtliche Werke, herausgegeben von Hermbstädt. Berlin, 1793. Bd. I, pag. 144.

2) Gilbert's Ann., Bd. 6., pag. 118.

3) *Ibid.*, Bd. 12., pag. 409.

Dies Resultat fand auch Wollaston im Wesentlichen wieder. Die Vorrichtung, deren er sich hierbei bediente, bestand in einer gläsernen Linse von 7 Zoll im Durchmesser, die mit einer Pappscheibe von 6⅞ Zoll im Durchmesser bedeckt war. Der unbedeckte Rand der Linse gab auf diese Weise ein gekrümmtes Prisma von ungefähr 22 Zoll Länge, welches nicht allein den Vortheil gewährte, dafs der Brennpunkt der violetten Stralen von dem der rothen um nicht weniger, als 2¼ Zoll entfernt lag, sondern dafs man auch blofs durch eine Veränderung des Abstandes, in welchem das gebrochene Licht aufgefangen wurde, ein ringförmiges Farbenbild von jedem beliebigen Durchmesser erhalten konnte. Es war, wenn das Licht in kleineren Abständen, innerhalb des Fokus der violetten Stralen, aufgefangen wurde, an dem inneren Rande violett, an dem äufseren roth, zeigte sich in einer Entfernung von 24½ Zoll als ein glänzender farbloser Kreis, und wurde in gröfseren Entfernungen wieder farbig, wie dies alles einen neuen Beweis für die Newtonsche Theorie liefert.

Hielt nun Wollaston in dieses Licht Papiere, die mit feuchtem salzsauren Silber bedeckt waren, so entstand auf denselben in Entfernungen, die kleiner waren, als 22¼ Zoll, nur ein dunkeler, bei 22¼ Zoll Abstand aber ein schwarzer Ring, der in einer Entfernung von 23 Zoll am kleinsten war, so dafs sich hier der Fokus der Stralen, welche die Schwärzung des salzsauren Silbers bewirken, befinden mufste. Wurde die Entfernung gröfser, als 23 Zoll genommen, so wurde auch der schwarze Ring gröfser; überstieg sie aber 24¼ Zoll, so bildete sich auf dem Papiere wieder nur ein dunkeler Ring.[1])

1) Gilbert's Ann., Bd. 39., pag. 291.

Es würde überflüssig sein, noch anzuführen, dafs auch Berard, dessen Beobachtungen über das rothe Ende des Spektrums ich bereits mitgetheilt habe, dieselben Resultate, wie Ritter und Wollaston fand, wenn sich jener geschickte Experimentator, dem der oben erwähnte Heliostat grofse Vortheile vor seinen Vorgängern gewährte, nicht einer, von den vorhin beschriebenen ganz abweichenden Vorrichtung bedient hätte. Da er das Spektrum längere Zeit hindurch an denselben Ort fixiren konnte, so war er hierdurch auch in den Stand gesetzt, mittelst eines Sammelglases die eine Hälfte desselben vom Grün bis zum äufsersten Violett, und mittelst eines anderen den übrigen Theil vom Grün bis über den Rand des Roth hinaus zu koncentriren. Ungeachtet sich die letztere Hälfte im Fokus zu einem glänzenden Punkte vereinigte, so erfolgte dennoch im salzsauren Silber, das in diesen Fokus gebracht wurde, binnen zwei Stunden keine merkliche Veränderung, während es in dem Brennpunkte der anderen Linse, wo der Glanz viel matter war, schon binnen zehn Minuten geschwärzt wurde. Auch überzeugte er sich, dafs selbst in den indigofarbenen und blauen Stralen, wenn sie auch nicht durch eine Linse koncentrirt werden, nach längerer Zeit eine schwache Schwärzung des Hornsilbers eintritt, dafs aber die stärkste chemische Wirkung des Spektrums nicht sowohl dem äufsersten sichtbaren Rande der violetten Stralen angehört, sondern vielmehr ein wenig über denselben hinaus reicht, wie dies alles auch Ritter gefunden hatte.[1])

1) Gilbert's Ann., Bd. 46., pag. 384. Auch Ruhland („Ueber die polarische Wirkung des gefärbten heterogenen Lichtes", pag. 47.) fand, dafs salzsaures Silber, wenn es ½ Zoll von der Grenze des

Noch einfacher ist die Vorrichtung, durch welche sich Goethe von der desoxydirenden Kraft der violetten Stralen überzeugte. Nachdem er mehrere Monate hindurch rothes Quecksilber-Oxyd unter destillirtem Wasser in drei verschiedenen Gläsern, einem weifsen, dunkelblauen und gelbrothen dem Tageslichte ausgesetzt hatte, fand er das Oxyd in dem weifsen und dunkelblauen Glase zum Theil in ein unvollkommenes, zum Theil aber auch in regulinisches Quecksilber verwandelt, während es in dem gelbrothen ungeändert geblieben, und selbst nach sechs Monaten nur ein wenig heller geworden war. In jenen beiden Gläsern hatte sich die ganze Zeit hindurch ein Gas, der Sauerstoff des Oxydes, entwickelt. [1])

Dafs man bei der Mengung gleicher Maafse Chlor und Wasserstoff mit Vorsicht zu Werke zu gehen habe, ist bekannt. Bringt man das Gasgemenge in ein Gefäfs von weifsem Glase, und stellt es ins Dunkele oder an ein Kerzenlicht: so erfolgt die Verbindung der Gase nicht. Stellt man aber ein solches Gefäfs in die Sonnenstralen, so entsteht eine Explosion. Dafs diese nur durch die blauen und violetten Stralen des Sonnenlichtes bewirkt werde, ersieht man daraus, dafs man ein rothes, oder gelbes oder grünes gläsernes Gefäfs ohne Gefahr den Sonnenstralen aussetzen kann.

Violett entfernt war, noch eben so stark, wie in diesem selbst geschwärzt wurde.

1) Farbenl., Bd. II, pag. 720. Goethe ist auch der erste, der es bemerkte, dafs geschwärztes Hornsilber unter einem gelbrothen Glase nach wenigen Stunden im Sonnenlichte heller wird, und eine gelbliche Farbe annimmt. Dasselbe fanden später Fischer („Ueber die Wirkung des Lichtes auf Hornsilber", pag. 60.) und Ruhland. Etwas Aehnliches hat Wollaston bei der Guajaktinktur bemerkt. In den brechbareren, durch eine Linse koncentrirten Stralen wird diese Tinktur grün, und in den weniger brechbaren erhält sie ihre natürliche Farbe, die blafsgelbe wieder.

Endlich hat man in der chemischen Hälfte des Spektrums, wie man nach den obigen Resultaten die blauen und violetten Stralen desselben nennen könnte, auch eine magnetisch erregende Kraft bemerkt, die der thermischen Hälfte, dem Grün, Orange und Roth gänzlich zu fehlen scheint.

Durch die Entdeckungen Herschel's über die Wärmestralen des Spektrums wurde Domenico Morichini, Professor der Chemie am *Collegio della Sapienza* in Rom, zuerst veranlafst, die Farben desselben auch in Bezug auf Magnetismus und Elektricität zu prüfen. Nachdem er mehrere kleine Stahlnadeln mit gläsernen Hütchen und möglichst leichter Bewegung hatte anfertigen lassen, begann er seine Versuche am 3. Juni 1812., und fand sich noch an demselben Tage in seiner Erwartung, dafs das chemische Ende des Spektrums auch magnetisch wirken werde, nicht getäuscht. Denn eine Nadel, die keine bestimmte Richtung gezeigt hatte, wandte sich, nachdem sie nur kurze Zeit in das äufsere Ende der violetten Stralen gebracht war, nach dem wahren Nordpole hin, und kehrte, wenn man sie aus dieser Lage herausbrachte, von selbst in dieselbe zurück. Als er sie bei den folgenden Versuchen dem Einflusse der violetten Stralen längere Zeit aussetzte, entfernte sie sich um so mehr von dem wahren, und näherte sich mit zunehmender Deklination dem magnetischen Pole, je länger dieser Einflufs gedauert hatte. Nachdem er diese Nadel und noch eine andere abwechselnd zu fünf verschiedenen Malen, täglich eine halbe Stunde hindurch, immer zwischen neun und eilf Uhr des Morgens in den Rand der violetten Stralen getaucht hatte, nahmen beide endlich die Richtung des magnetischen Meridians an, und behielten dieselbe bei. So merklich auch die Anziehung der entgegen-

gesetzten Pole war, so zeigten doch die gleichnamigen Pole keine Abstofsung, so wie auch weder von dem einen, noch dem anderen Eisenfeile angezogen wurde. Koncentrirte aber Morichini die violetten Stralen durch eine Linse, und brachte er die Nadeln in dies dichtere Licht, so zogen ihre Nordpole auch Eisenfeile an.[1])

Sobald Morichini diese Entdeckung einem seiner Kollegen, dem Professor Barlocci, mitgetheilt hatte, fiel diesem der Gedanke bei, dafs man durch Nachahmung der gewöhnlichen Streichmethode vielleicht noch auffallendere Resultate erhalten dürfte. Er liefs daher das koncentrirte Bild der violetten Stralen zuerst von der Mitte der Nadeln bis zu dem einen, und hierauf von der Mitte bis zu dem anderen Ende hinstreichen, und fand hierdurch allerdings die magnetische Wirkung des violetten Lichtes bedeutend erhöht. Es unterschieden sich die auf diese Weise magnetisirten Nadeln nicht allein in keiner Hinsicht von den gewöhnlichen, künstlich bereiteten Magnetnadeln, sowohl was die Richtung nach dem magnetischen Pole hin, als auch die Anziehung der entgegengesetzten und Abstofsung der gleichnamigen Pole, so wie die Anziehung der Eisenfeile durch jeden der beiden Pole, ja, selbst die Inklination betrifft; sondern es war die zur vollständigen Magnetisirung erforderliche Zeit auch kürzer, als sie es bei den, von Morichini angestellten Versuchen gewesen war. Bei dem längsten waren nicht mehr, als zwei Stunden, bei dem kürzesten aber nur eine halbe Stunde erfordert worden, und es schien dieser Zeitunterschied besonders durch den Zustand der Witterung bedingt zu

1) Gilbert's Ann., Bd. 43., pag. 212.

werden, indem eine trockene und heitere Atmosphäre diesen Versuchen am günstigsten war. Keine der übrigen Farben zeigte aber ähnliche Erscheinungen, während die magnetische Kraft der violetten Stralen nicht blofs am äufsersten Rande derselben am stärksten war, sondern auch über denselben hinaus reichte. Barlocci entdeckte endlich in den violetten Stralen auch eine schwache elektrische Kraft, indem er fand, dafs die Strohhalme eines Kondensators, auf dessen Platte er das koncentrirte Bild der violetten Stralen längere Zeit hindurch fallen liefs, ein wenig divergirten, und zwar durch positive Elektricität.

So sorgfältig auch Morichini alle diese Versuche angestellt zu haben versicherte, so trat doch in einem seiner Landsleute, dem Professor Configliachi in Pavia, ein Gegner gegen ihn auf. Durch eine Menge von Versuchen, die auf die Nachricht von Morichini's Entdeckung angestellt wurden, hatte er sich überzeugt, dafs es kaum ein Stück Eisen oder Stahl gebe, das nicht durch den Einflufs des Erd-Magnetismus magnetisch wäre, oder wenigstens, wenn man ihm eine freie Bewegung möglich mache, bald magnetisch würde, ohne dafs man nöthig hätte, irgend eins der bekannten Mittel, wie Stofs, Richtung nach dem magnetischen Pole, elektrische Funken und Temperatur-Veränderung zu seiner Magnetisirung anzuwenden. Configliachi erklärte es daher für sehr wahrscheinlich, dafs Morichini sich getäuscht habe, wenn er in den violetten Stralen eine besondere, magnetisch erregende Kraft entdeckt zu haben glaubte, zumal da er dadurch, dafs er die Nadeln in den Fokus der violetten Stralen brachte, nicht blofs eine starke Temperatur-Veränderung in denselben bewirkt, sondern sie auch oft geflissentlich

in die Richtung des magnetischen Meridians gebracht haben würde.[1])

Morichini widerlegte diese Einwürfe, indem er seinem Gegner bemerklich machte,[2]) dafs, wenn auch unmagnetische Nadeln, in den magnetischen Meridian gebracht, die Richtung desselben nach einiger Zeit annehmen, sie doch nicht die, einen Magnet erst eigentlich charakterisirende Eigenschaft des Anziehens und Abstofsens in dem Grade zeigen, wie sich dieselbe bei der Wiederholung seiner Versuche nach Barlocci's Methode so lebhaft geäufsert habe; auch erfordere die blofs durch den Erd-Magnetismus erfolgende Magnetisirung viel längere Zeit, als sie bei seinen Versuchen nöthig gewesen sei. Nadeln auf hölzernen Brettchen, die vier Tage hindurch mittelst einer Wachskugel in die Richtung des magnetischen Meridians gebracht waren, hätten dieselbe nur mit schwacher Kraft zu behaupten gestrebt, und nicht alle jene Eigenschaften gezeigt, die zusammengenommen das Vorhandensein des magnetischen Fluidums erst unzweifelhaft ankündigen. Im Fokus der violetten Stralen aber wären die Nadeln schon binnen 30 bis 40 Minuten entschieden magnetisch gewesen, während sich im Fokus der grünen Stralen in der sechsfachen Zeit nur ein schwaches Streben nach dem magnetischen Pole hin, in dem der rothen aber gar keine magnetische Wirkung geäufsert habe.

So zuversichtlich hier auch Morichini von seiner Entdeckung spricht, so wurde sie doch in Zweifel gezogen, weil es anderen bewährten Experimentatoren, wie Berard und v. Yelin, nicht gelingen wollte, die

1) Gilbert's Ann., Bd. 46., pag. 335.
2) *Ibid.*. Bd. 46., pag. 367.

magnetische Kraft der violetten Stralen wieder zu finden. So konnte v. Yelin, so lange er auch eine feine Nadel mit dem Fokus der violetten Stralen streichen mogte, keine merkliche magnetische Erregung wahrnehmen, die sich jedoch lebhaft äufserte, wenn er die Nadel in den Fokus des Sonnenlichtes überhaupt brachte, und sie dabei in der Richtung von Osten nach Westen hielt. An dem, gegen Ost gekehrten Ende hatte sie ihren Nord-, an dem gegen West gekehrten ihren Südpol.[1])

Die Meinung, dafs Morichini sich getäuscht habe, fand daher immer mehr Eingang, bis Mifstrefs Mary Sommerville, die durch das ungewöhnlich heitere Wetter, das England im Jahre 1825. hatte, zur Wiederholung der Versuche veranlafst wurde, die Morichinische Entdeckung wiederfand. Sie glaubte sich der Mühe, zu diesem Zwecke besonders eingerichtete Nadeln erst anfertigen zu lassen, überheben zu können, und nahm, der Bestimmung ihres Geschlechtes eingedenk, eine gewöhnliche Nähnadel, die etwa einen Zoll lang war. Da sie es nicht für wahrscheinlich hielt, dafs sich in einer so kleinen Nadel Polarität erzeugen werde, wenn sie ihrer ganzen Länge nach dem Lichte ausgesetzt würde: so bedeckte sie die eine Hälfte derselben mit Papier, und brachte nur die andere unbedeckte Hälfte in den Wirkungskreis der violetten Stralen. Hier aber zeigte sich eine solche Nadel binnen zwei Stunden entschieden magnetisch, und zwar so, dafs das unbedeckte Ende der Nordpol war. Eine beinahe eben so starke magnetische Erregung wurde in den indigofarbenen Stralen bemerkt, viel schwächer aber äufserte sie sich in den blauen und grünen. In

1) Gilbert's Ann., Bd. 73., pag. 419.

den gelben, orangefarbenen und rothen Stralen blieb die Nadel, selbst wenn sie ihnen drei Tage nach einander ausgesetzt gewesen war, durchaus unmagnetisch. Koncentrirte aber die Sommerville die violetten Stralen mit derselben Linse, mit welcher Wollaston seine Entdeckungen über die chemische Wirkung dieser Stralen gemacht hatte, so fand auch sie eben so, wie Barlocci, die zur Magnetisirung der Nadel erforderliche Zeit kürzer, und überzeugte sich zugleich, dafs zu einem, in dieser Weise anzustellenden Versuche die Verfinsterung des Zimmers eben nicht nothwendig sei, wenn nur der Apparat so gestellt wird, dafs an den Ort des Spektrums keine direkten Sonnenstralen gelangen können.

Da die Sommerville gefunden hatte, dafs blaue Uhrfedern, etwa $1\frac{1}{2}$ Zoll lang und $\frac{1}{8}$ Zoll breit, zu solchen Versuchen noch mehr geeignet, als Nähnadeln sind, und sie die Ursache der schnelleren und kräftigeren Magnetisirung nicht blofs in der gröfseren Oberfläche, die solche Uhrfedern dem Lichte darbieten, sondern auch in ihrer Farbe suchen zu müssen glaubte: so vermuthete sie, dafs jene halbbedeckten Nadeln, unter blauen Glasglocken dem Sonnenlichte ausgesetzt, vielleicht auch magnetisch werden dürften, und fand selbst diese Vermuthung nicht blofs, wenn blaue, sondern auch grüne Glocken genommen wurden, bestätigt. Nach diesem Erfolge schien es ihr wahrscheinlich, dafs die Nadel, wenn die mit dem Papiere nicht bedeckte Hälfte mit blauem oder grünem Bande umwickelt, und hinter den Scheiben eines Fensters an einem Faden hängend den Sonnenstralen ausgesetzt würde, gleichfalls magnetisch erregt werden dürfte, und auch in dieser Erwartung, versichert sie, sich nicht getäuscht gefunden zu haben. Die Nadel zeigte, wenn sie einen

Tag in dieser Lage geblieben war, an dem, mit dem Papiere nicht bedeckten Ende, wie gewöhnlich, den Nordpol. Ein gelbes, orangefarbenes oder rothes Band brachten aber auch hier keine Wirkung hervor. Zu dem sicheren Gelingen dieser und aller jener übrigen Versuche war jedoch eine heitere und trockene Luft, und die Zeit zwichen zehn und ein Uhr des Vormittags am günstigsten, wie dies auch Morichini gefunden hatte.[1])

Es hat indeſs über der Morichinischen Entdekkung, wie über keiner anderen in der Optik, ein eigenes Schicksal gewaltet. Denn ohne Erfolg wurden die Sommervilleschen Versuche in Deutschland wiederholt. Zwar fand Baumgartner, wie früher schon v. Yelin, daſs das weiſse Sonnenlicht auf Stahlnadeln, die zum Theil glatt geschliffen, und zum Theil rauh sind, magnetisch einwirke, indem an dem glatten Ende Nord-Polarität eintritt; die Morichinische Entdekkung aber wurde nicht bloſs von ihm, sondern auch von Rieſs und Moser, die ungeachtet aller Sorgfalt, mit welcher die Versuche wiederholt wurden, keine magnetisch erregende Kraft in den violetten Stralen entdecken konnten, bestritten.[2]) Wenn daher auch dieser sogenannte Photomagnetismus für jetzt noch zweifelhaft bleibt, so sind doch die verschiedenen thermischen und chemischen Wirkungen der farbigen Stralen durch alle darüber angestellten Versuche über jeden Zweifel erhoben worden.

So hat also Newton's Behauptung, daſs das Sonnenlicht nicht einfach sei, sondern daſs es sich durch die Brechung in unendlich viele Farben von verschie-

1) Poggendorff's Ann., Bd. 6., pag. 493.
2) *Ibid.*, Bd. 16., pag. 563.

denen Eigenschaften zersetze, und dafs man es daher als den Inbegriff einer unendlichen Menge unendlich verschiedener Aether-Undulationen anzusehen habe, auch durch die Entdeckungen der berühmtesten Optiker unserer Zeit eine wiederholte Bestätigung erhalten.

Christian Huygens.

Geb. im Haag 1629., gest. ebendaselbst 1695.

Erasmus Bartholinus beschreibt zuerst die doppelte Brechung im Isländischen Krystalle — Die von Huygens gemachten Beobachtungen über diese Art der Brechung — Das gewöhnliche Brechungsverhältnifs aus der Luft in den Isländischen Krystall ist 5:3 — Huygens's Erklärung der ungewöhnlichen Brechung in diesem Krystalle aus einer sphäroidischen Gestalt der Aether-Undulationen — Newton's Gesetz der doppelten Brechung — Seine Hindeutung auf die Polarisation des Lichtes.

Christian Huygens betrat ruhmvoll die schriftstellerische Laufbahn so frühzeitig, dafs er schon im Jahre 1666., in seinem sieben und dreifsigsten Lebensjahre, von Ludwig XIV. an die Akademie in Paris berufen wurde. Wahrscheinlich würde er bis zu seinem Tode die vornehmste Zierde derselben geblieben sein, wenn sich der König nicht zum Widerrufe des Ediktes von Nantes hätte bestimmen lassen. Ungeachtet man ihm für seine Person den ungekränkten Genufs seiner früheren religiösen Freiheit versprach: so mogte er dennoch in einem Lande, in welchem die Religion nicht mehr eine Sache der freien Ueberzeugung sein sollte, um so weniger bleiben, da er täglich Zeuge der Verfolgungen seiner Glaubensgenossen sein mufste. Er kam der Aufhebung (22. October 1685.) jenes Ediktes zuvor, und kehrte im Jahre 1681. in

sein Vaterland zurück, wo er sein seegenvolles, der Mit- und Nachwelt theures Leben den 5. Juni 1695. endigte. [1])

Die Astronomie, Mechanik und Optik sind die Wissenschaften, in denen sich Huygens einen unsterblichen Namen erworben hat. In der ersteren verdankt man ihm ein genaues Maafs der Zeit, das durch kein zweckmäfsigeres bis auf den heutigen Tag ersetzt ist; die nähere Kenntnifs des Ringes und der Monde des Saturn; endlich die Entdeckung der Abplattung der Planeten, die das Kopernikanische System über die letzten Zweifel erhob. In der Mechanik begründete er die Lehren von der Bewegung schwerer Körper auf vorgeschriebenem Wege, von der Mittheilung der Bewegung durch den Anstofs, und von der Schwungbewegung. Ihm gebührt ferner der Ruhm, die Lichterscheinungen zuerst aus der Undulations-Theorie erklärt zu haben. Wie er das Reflexions- und Refraktions-Gesetz aus dieser Theorie ableitet, haben wir schon früher gesehen; mit welchem Scharfsinne er sie aber auf die Erklärung der doppelten Brechung im Isländischen Krystalle anwendet, wird die folgende Abhandlung zeigen. Wenn endlich auch seine Erklärungen mehrerer in die meteorologische Optik gehörigen Phänomene sich nicht als haltbar erwiesen

1) In seinem Testamente hatte Huygens alle seine Manuscripte der Universität in Leyden vermacht, die Professoren Burcherus de Volter und Bernhardus Fullenius aber gebeten, diejenigen seiner Abhandlungen, welche ihnen der Beachtung werth zu sein scheinen würden, zu veröffentlichen. Sie besorgten im Jahre 1700. die erste Sammlung des Nachlasses unter dem Titel: *Christiani Hugenii, Zuilichemii, dum viveret, Zelhemii toparchae, opuscula posthuma.* Später gab 's Gravesande eine vollständige Sammlung der Huygensschen Schriften in vier Theilen heraus.

haben, so zeugen sie nichtsdestoweniger von der geschickten Anwendung, die er von seiner tiefen Kenntnifs der Mathematik zu machen verstand.

Unter den von Huygens verfafsten optischen Abhandlungen ist keine berühmter, als der „*Tractatus de lumine*“, in dessen fünftem Kapitel er von der doppelten Brechung des Isländischen Krystalles (Kalkspaths) handelt. [1])

Zuerst lenkte die Aufmerksamkeit auf diesen Krystall Erasmus Bartholinus, [2]) Professor der Geometrie in Kopenhagen. Durch den Verkehr zwischen Dänemark und Island war er in den Besitz mehrerer grofsen Stücke dieses Krystalles aus der Nähe des Isländischen Berges Roerford gekommen, wo sie zuweilen, einen Fufs dick, gebrochen werden, und wurde daher, bei der bedeutenden Gröfse dieser Stücke, leicht auf die Beobachtung geführt, dafs ein an die untere Fläche eines solchen Krystalles gebrachter Gegenstand doppelt erscheint. Bei näherer Prüfung fand Bartholinus, dafs der Krystall sich nach drei Richtungen hin, die für jeden Punkt in einer Seitenfläche parallel bleiben, leichter, als nach anderen spalten läfst, und dafs er, wenn man ihn nach diesen Richtungen spaltet, die Gestalt eines Rhomboeders erhält, unter dessen Ecken zwei, die einander entgegengesetzt sind,

1) Huygens hatte diese Abhandlung, wie er selbst in der Vorrede sagt, schon im Jahre 1678, geschrieben, als er noch in Paris war, und sie in Französischer Sprache in der Akademie gelesen. Seine Absicht, sie ins Lateinische zu übersetzen, wurde durch seine Abreise von Paris verzögert, so dafs sie erst im Jahre 1690. im Haag in Lateinischer Sprache erschien.

2) In den „*Experimentis Crystalli Islandici Disdiaclastici, quibus mira refractio detegitur*“. *Havniae*, 1669. Erasmus Bartholinus, der jüngste unter den berühmten Söhnen des Caspar Bartholinus, ist 1625. geboren.

drei gleiche und zwar stumpfe Winkel haben, während in den übrigen sechs Ecken zwei spitze und ein stumpfer vorkommen. Jeder stumpfe Winkel ergab sich aus seinen Messungen = 101°, und jeder spitze = 79°. Das Brechungsverhältnifs der auf die gewöhnliche Weise gebrochenen Stralen, durch welche das eine von den beiden Bildern entsteht, fand er, wie 5 : 3, und bemerkte endlich auch schon, dafs ein schiefer Stral zuweilen ungebrochen durch diesen Krystall hindurchgehe, irrte sich jedoch, wie wir hernach sehen werden, in den Bedingungen, von denen er diese Erscheinung abhängig glaubte.

Dies ungefähr sind die Beobachtungen Bartholin's über den Isländischen Krystall, die Huygens in folgender Weise berichtigte und erweiterte:

1. Spaltet man den Isländischen Krystall nach den drei Richtungen, nach denen er sich leicht spalten läfst: so erhält er die Gestalt eines (Fig. 29.) Rhomboeders *CE*, in welchem zwei gegenüber liegende Ecken *C* und *E*, die in der Folge die stumpfen Ecken heifsen sollen, von drei gleichen stumpfen Winkeln gebildet werden, während eine jede der sechs anderen nur einen von diesen stumpfen Winkeln und zwei spitze hat, die auch überall dieselben sind. Aus dem Neigungswinkel zweier an einander stofsenden Seitenflächen, der sich = 105° ergab, fand Huygens mittelst der sphärischen Trigonometrie den stumpfen Winkel des Krystalles = 101° 52′, den spizzen folglich = 78° 8′.

2. Halbirt man den stumpfen Winkel *DCA* durch die Linie *CK*, und legt durch diese Linie und die Kante *CF* die Ebene *CKHF*: so steht dieselbe, die von Huygens der Hauptschnitt (*sectio praecipua*) genannt wird, nothwendig winkelrecht auf der Seiten-

fläche *DA*, weil alle drei stumpfen Winkel in der Ecke *C* gleich sind. Den Winkel *KCF* der oberen Grundlinie des Hauptschnittes und der Kante *CF* berechnete er = 109° 3′, den Winkel *CFH* der unteren Grundlinie mit derselben Kante folglich = 70° 57′.

3. Die Linie, welche mit den drei Kanten *CA*, *CD*, *CF* der stumpfen Ecke *C* gleiche Winkel bildet, wird von Huygens die Achse der Ecke *C* genannt. Ist das Kalkspath-Rhomboeder gleichseitig, also *CA* = *CD* = *CF*: so geht diese Achse durch die gegenüber liegende stumpfe Ecke *H*, und ist zugleich die Achse des Krystalles. Der Winkel, den sie mit den drei Kanten bildet, ergab sich = 63° 43′, der Winkel *KCH* folglich, dessen Schenkel die obere Grundlinie des Hauptschnittes und die Achse sind, = 45° 20′.

4. Bedeckt man die Oberfläche *AD* des Krystalles, so dafs nur eine kleine Oeffnung in *G* bleibt, welche Stelle in der oberen Grundlinie *CK* des Hauptschnittes genommen ist, und läfst den in das dunkele Zimmer eindringenden Sonnenstral *SG* winkelrecht auf *AD* fallen: so wird er in *G* in zwei Stralen gespalten, von denen der eine in der Verlängerung von *SG* ungebrochen nach *L* fortgeht, der andere aber, als ob er durch eine, von der (mit *CH* parallelen) Achse *GX* des Punktes *G* ausgehende Kraft abgestofsen würde, in der Ebene des Hauptschnittes die Richtung *GM* annimmt, die mit *GL* einen Winkel *LGM* von 6° 40′ bildet. Der Stral *GL* bleibt auch nach seinem Austritte aus dem Krystalle in *L* ungebrochen, der Stral *GM* aber erhält, nachdem er in *M* aus dem Krystalle ausgetreten ist, die mit dem einfallenden *SG* parallele Richtung *MN*, welche daher gleichfalls in der Ebene des Hauptschnittes liegt. Es geht also

hieraus hervor, dafs ein winkelrecht einfallender Stral im Isländischen Krystalle nur zum Theil das gewöhnliche Brechungsgesetz befolgt, und ungebrochen bleibt, zum Theil aber auch auf eine sonst ganz ungewöhnliche Weise eine Brechung erleidet.

5. Stellt man den Krystall so gegen die Sonne, dafs der in der Erweiterung des Hauptschnittes *KF* einfallende Stral *SP* mit *PK* einen Winkel *SPK* von 73° 20′ bildet: so theilt sich dieser schiefe Stral *SP* bei seinem Eintritte in den Krystall in zwei, von denen der eine in unveränderter Richtung *PQ*, die er selbst nach dem Austritte aus dem Krystalle beibehält, der andere aber, näher nach dem Einfallslothe hin, nach *PR* gebrochen, in einer mit dem einfallenden Strale *SP* parallelen Richtung *RV* fortgeht, und zwar so, dafs alle diese Stralen in der Ebene des Hauptschnittes bleiben. Auch hier wird also, wieder gegen das gewöhnliche Brechungsgesetz, ein schief einfallender Stral im Isländischen Krystalle zum Theil nicht gebrochen.

Auf diese Weise überzeugte sich Huygens, dafs ein jeder auf den Krystall fallende Stral zwei Brechungen erleide, eine gewöhnliche (*refractio consueta*, *vulgaris*) und eine ungewöhnliche (*refractio insolita*). So ist für den Einfallspunkt *G* der Stral *GL* der gewöhnlich, der Stral *GM* der ungewöhnlich gebrochene, für den Punkt *P* aber der Stral *PR* der gewöhnlich, und *PQ* der ungewöhnlich gebrochene.[1]) Aber nur die in der Erweiterung des

1) Die gewöhnlich gebrochenen Stralen sind in Fig. 29. und allen folgenden, die doppelte Brechung betreffenden Figuren ausgezogen, die ungewöhnlich gebrochenen blofs punktirt worden. — Auch bei dem Bergkrystalle hatte schon Huygens eine doppelte Brechung bemerkt.

Hauptschnittes, und der ihm parallelen Schnitte einfallenden Stralen bleiben nach ihrer ungewöhnlichen Brechung in der Ebene derselben, während dies bei anderen Einfallsebenen nicht der Fall ist.

Schon Bartholin hatte es bemerkt, dafs ein schief einfallender Stral zuweilen ungebrochen durch den Krystall gehe, fälschlich aber geglaubt, dafs dies geschehe, wenn er parallel mit der gegenüber liegenden Kante *CF* des Krystalles einfällt. Denn dafs dem nicht so sei, der Winkel *CFH* vielmehr 70° 57′ habe, ist schon unter 2. bemerkt worden.

6. Aus 4. und 5. erhellt, weshalb ein kleiner Gegenstand, ein weifser Kreis z. B. auf schwarzem Hintergrunde, durch den Isländischen Krystall doppelt erscheinen müsse. Denn ist (Fig. 30.) *a* der Gegenstand, von dem die nahen Stralen *ab* und *ac* auf die untere Seite *FH* des Hauptschnittes fallen: so theilt sich *ab* im Krystalle in den gewöhnlichen Stral *bd* und den ungewöhnlichen *bf*, die beide parallel mit *ab* in den Richtungen *dl* und *fk* aus dem Krystalle austreten, und *ac* in den gewöhnlichen Stral *ce* und den ungewöhnlichen *cg*, die gleichfalls beide parallel mit *ac* oberhalb *CK* fortgehen, indem die ungewöhnlichen Stralen eben so, wie die gewöhnlichen, nicht blofs im Hauptschnitte, sondern auch in allen übrigen Schnitten, bei dem Austritte aus dem Krystalle dasselbe Brechungsgesetz, wie bei dem Eintritte in denselben befolgen. Bei der Kleinheit des Winkels *bac* müssen sich aber der gewöhnliche Stral *ce*, und der ungewöhnliche *bf* nicht blofs irgendwo innerhalb des Krystalles in *h*, sondern auch oberhalb *CK* in *k* schneiden, und es sieht daher ein in *k* befindliches Auge den Gegenstand *a* nach den beiden Richtungen *ke* und *kf*. Je weiter der Gegenstand *a* von *FH* entfernt,

je kleiner daher der Winkel *bac* ist, desto näher rükken beide Bilder zusammen, und eben deshalb bemerkt man von entfernteren Gegenständen nur ein Bild durch den Krystall.

7. Das Brechungsverhältnifs der gewöhnlichen Stralen fand Huygens durch folgendes Verfahren. Auf ein weifses Papier wurden drei schwarze Linien (Fig. 31.) *RS*, *MN*, *PQ* so gezogen, dafs die erstere die beiden anderen unter rechten Winkeln in *E* und *S* schnitt, und die Entfernung *ES* gröfser oder kleiner genommen war, je nachdem die Stralen mehr oder weniger schief ins Auge fielen. Auf den Durchschnittspunkt *E* wurde hierauf der Krystall so gelegt, dafs *RS* mit *HF*, der Halbirungslinie des stumpfen Winkels in der Grundfläche, zusammenfiel. Hielt Huygens dann das Auge in der durch *HF* perpendikulären Ebene, so sahe er nur ein Bild dieser Linie (weil beide, das gewöhnliche und ungewöhnliche, sich bei dieser Lage des Krystalles decken), den Theil von *RS* folglich, der durch den Krystall gesehen wurde, mit denen aufserhalb desselben in einer und derselben Richtung; die Linie *MN* aber erschien doppelt. Er brachte hierauf das Auge, immer in der durch *HF* perpendikulären Ebene, nach *O*, wo das gewöhnliche Bild von *MN* eine gerade Linie mit den Theilen ausserhalb des Krystalles bildete, und bemerkte den Punkt *A* in der oberen Grundfläche, in welchem *E* gesehen wurde. Das gewöhnliche Bild von *E* konnte er aber von dem ungewöhnlichen dadurch unterscheiden, dafs jenes höher lag, wenn er es mit beiden Augen betrachtete, auch beim Umdrehen des Krystalles an derselben Stelle blieb, während das ungewöhnliche Bild seinen Ort änderte. Da die Brechung eine gewöhnliche war, so mufste der Punkt *A* in der aus *E* auf

die obere Grundfläche des Krystalles gezogenen Winkelrechten liegen. Huygens suchte endlich, immer noch in der durch *HF* perpendikulären Ebene, die Stelle *O'*, wo das gewöhnliche Bild von *MN* mit *PQ* zusammenfiel, welche Linie ohne Brechung gesehen wurde, und bemerkte den Punkt *B* in der oberen Grundfläche, wo sich das Bild von *E* zeigte. So kannte er die Linien *AB*, *ES* und *AE*, die Höhe des Krystalles, und konnte hieraus, wenn der Punkt, in welchem sich *AE* und *BS* schneiden, *V* heifst, das Verhältnifs von *EB* zu *BV* berechnen, welches dem gewöhnlichen Brechungsverhältnisse aus der Luft in den Krystall gleich ist. Denn es verhält sich $EB:BV = \sin BVA : \sin BEV$, d. h. wie die Sinus der Winkel in der Luft und im Krystalle, wie man leicht sieht, wenn man durch *B* ein Einfallsloth gezogen denkt. Das Verhältnifs der Linien *EB* und *BV* fand aber Huygens, eben so wie es Bartholin bestimmt hatte, ziemlich genau, wie 5 : 3, und es blieb dies Verhältnifs für jede Lage der Einfallsebene und jeden Neigungswinkel in derselben konstant.

Um das ungewöhnliche Brechungsverhälnifs zu ermitteln, stellte Huygens das Auge in *O''* so, dafs das ungewöhnliche Bild von *MN* mit *PQ* zusammenfiel, welche Linie wieder ohne Brechung gesehen wurde. Durch den Punkt *D*, in welchem das Bild von *E* erschien, war dann die Linie *DA* bekannt, und es konnte aus dieser und den Linien *ES* und *AE* gerade so, wie bei der gewöhnlichen Brechung, das ungewöhnliche Brechungsverhältnifs $DE:DW$ gefunden werden, wenn *W* der Punkt ist, in dem sich *O''S* und *AE* schneiden. Dies zeigte sich jedoch nicht konstant, sondern nicht blofs für jede Einfallsebene, sondern auch für jeden Neigungswinkel in derselben verschieden.

8. Sind zwei, in der Ebene des Hauptschnittes einfallende, und von entgegengesetzten Seiten kommende Stralen gegen die obere Seite dieses Schnittes gleich geneigt: so treffen ihre ungewöhnlichen Stralen die untere Seite desselben Schnittes in Punkten, die in gleichen Entfernungen von der Stelle liegen, nach welcher der ungewöhnliche Stral des senkrechten fällt.

9. Schleift man die beiden stumpfen Ecken des Krystalles unter rechten Winkeln gegen die Achse ab, so zeigt sich bei senkrechten Stralen nur ein Bild eines durch die beiden parallelen Ebenen betrachteten Gegenstandes. Die abstofsende Kraft der Achse wirkt dann auf den senkrechten Stral, der mit ihr zusammenfällt, nach allen Richtungen gleich stark, und so kann sich kein Theil desselben zu einer ungewöhnlichen Brechung absondern. Eben so bemerkt man bei senkrechten Stralen nur ein Bild, wenn man den Gegenstand durch zwei Ebenen betrachtet, die parallel mit der Achse abgeschliffen sind. Die entgegenwirkende Kraft der letzteren kann in diesem Falle wohl die Geschwindigkeit der Stralen verringern, nicht aber ihre Richtung ändern. Bei schiefen Stralen aber zeigt sich in beiden Fällen wieder ein doppeltes Bild.

10. Legt man zwei Rhomboeder von Isländischem Krystalle über einander, oder hält man sie auch in einiger Entfernung von einander, aber so, dafs die Seitenflächen des einen, einzeln verglichen, denen des anderen parallel sind: so gehen die beiden Stralen (Fig. 32.) *BD* und *BC*, in welche sich *AB* in dem oberen Rhomboeder theilt, in das untere über, ohne von neuem in demselben gespalten zu werden. Der gewöhnliche Stral *DG* erleidet in dem unteren Rhomboeder nur die gewöhnliche Brechung *GH*, der ungewöhnliche *CE* aber die ungewöhnliche *EF*. Dies

geschieht auch, die Seitenflächen der beiden Rhomboeder mögen parallel sein, oder nicht, wenn sich die Hauptschnitte beider in derselben Ebene befinden.

11. Legt man aber die Hauptschnitte unter rechten Winkeln über einander, es mögen die Seitenflächen der Rhomboeder parallel sein, oder nicht: so erleidet der gewöhnliche Stral (Fig. 33.) *ABDG* in dem unteren Krystalle nur die einzige ungewöhnliche Brechung *GH*, der ungewöhnliche Stral *ABCE* dagegen nur die einzige gewöhnliche *EF*.

12. In allen übrigen Stellungen beider Rhomboeder werden die Stralen *DG* und *CE* in dem unteren Krystalle in zwei gespalten, so daſs aus dem einzigen Strale *AB* vier entstehen, die nach den verschiedenen Stellungen der beiden Krystalle mehr oder weniger hell sind, zusammen aber nicht mehr Licht haben, als der einzige Stral *AB*.

Um diese Erscheinungen erklären zu können, nimmt Huygens an, daſs die Molecule des Kalkspaths unter einander gleich, und sehr abgeplattete Ellipsoide sind, wie sie durch die Umdrehung einer Ellipse um ihre kleine Achse entstehen, und daſs die kleinen Achsen dieser Ellipsoide der Achse der stumpfen Ecke parallel liegen. Die Undulationen des Aethers fänden dann, indem sie sich mit denen des Krystalles selbst verbänden, nach der einen Richtung hin mehr Widerstand, als nach der anderen, und so entstehe eine Trennung und zwiefache Gestalt derselben. Sphärische Undulationen, die sich, wie in den nicht krystallisirten Mitteln, nach Linien ausbreiten, die auf ihnen senkrecht sind, sein auch in dem Isländischen Krystalle die Ursache der gewöhnlichen; sphäroidische aber, die sich nach Linien, die auf ihnen schief sind, ausbreiten, die der ungewöhnlichen Brechung. Indem

Huygens diesen sphäroidischen Undulationen, um ihre Gröfse und Wirkung berechnen zu können, gleichfalls die Gestalt eines Ellipsoides beilegt, das durch die Umdrehung einer Ellipse um ihre kleine Achse entstanden, und in dem die letztere der Achse der stumpfen Ecke parallel ist, sieht er sich in den Stand gesetzt, die obigen Erscheinungen hieraus ableiten zu können. [1])

Die Fortpflanzung dieser sphäroidischen Undulationen erfolgt nach der Huygensschen Theorie in derselben Weise, wie die der sphärischen in den nicht krystallisirten Mitteln. Ist z. B. (Fig. 34.) *SC* ein auf die obere Seite *CK* des Hauptschnittes fallender Stral, und die hierauf Winkelrechte *CS'* ein Theil der zu demselben zugehörigen sphärischen Undulation: [2]) so entsteht in dem Krystalle um den Einfallspunkt *C* als Mittelpunkt die ellipsoidische Undulation *gIG* in derselben Zeit, in der *S'* nach *K* kommt, indem sich während eben dieser Zeit auch um die übrigen Einfallspunkte *C* ähnliche und ähnlich liegende ellipsoidische Segmente bilden, deren gemeinschaftliche Tangente *IK*

1) *Tract. de lumine*, in der Ausgabe der *Op. reliqua* von 's Gravesande. *Amstel.*, 1728., vol. I, pag. 46. *Quod attinet ad alteram emanationem, unde irregularis refractio deberet oriri, tentare libuit, quid proficerent undae ellipticae seu potius sphaeroideae, quas posui sese indifferenter extendere, tum in materia aetherea per crystallum diffusa, tum in particulis crystalli ipsius. Videbatur mihi dispositio vel situs regularis particularum illarum facere posse, ut undae figuram sphaeroidem induerent (cum ad id satis esset, si motus successivus luminis paulo citius in unam partem, quam in aliam extenderetur), nec fere dubitabam, quin crystallus haec ita facta esset, particulisque constaret aequalibus et similibus, quandoquidem haberet figuram angulosque mensurae cujusdam certae constantisque.*

2) Th. I, pag. 239. sqq.

die Fortsetzung der Lichtwelle *CS′* in dem Krystalle ist. In dem nächsten, eben so grofsen Zeitraume, in dem *K* in einer mit *CI* parallelen Richtung den Weg $KB = CI$ zurücklegt, wird von *I* in der Luft wieder eine sphärische Undulation gebildet, deren Halbmesser $ID = S'K$ ist, und eben so verhält es sich mit jedem anderen Punkte der Lichtwelle *IK*. Der Punkt *h* z. B. wird in einer mit *CI* parallelen Richtung in demselben Augenblicke in *m* ankommen, in welchem *K* in *n* anlangt, wenn *mn* parallel mit *IK* gezogen ist, und während *K* den noch übrigen Theil *nB* von *KB* durchläuft, wird von *m* in der Luft eine sphärische Welle erzeugt, deren Halbmesser *mq* sich eben so zu *nB* verhält, wie *ID* zu *KB*. Alle diese sphärischen Undulationen haben die gemeinschaftliche Tangente *BD*, welche daher die Fortsetzung der Welle *IK* in demselben Augenblicke ist, in dem *K* nach *B* gelangt. Der Stral *SC* wird also in der Richtung *ID* aus dem Krystalle austreten. Da die Dreiecke *CKS′* und *IBD* kongruent, die Stralen *SC* und *ID* folglich parallel sind: so ist hierdurch zugleich die unter 4. und 5. angegebene Erscheinung, dafs die ungewöhnlichen Stralen nach ihrem Austritte aus dem Kalkspath in einer, mit den einfallenden parallelen Richtung fortgehen, erklärt.

Um die Gestalt jener ellipsoidischen Undulationen zu bestimmen, sei (Fig. 35.) *HgMG* der Durchschnitt einer solchen mit dem Hauptschnitte, oder einer demselben parallelen Ebene, *C* der Mittelpunkt derselben, die parallel mit der Achse der stumpfen Ecke, also unter einem Winkel $GCp = 45^{0}\ 20'$ gegen *CG* gezogene Linie *Cp* die halbe kleine, die hierauf Winkelrechte *CP* die halbe grofse Achse, und *M* der Punkt, in welchem die untere Seite des Hauptschnittes, oder

der ihm parallelen Schnitte von der Undulation berührt wird. Nach 4. liegt dieser Punkt so, dafs CM mit der auf gG Senkrechten CL einen Winkel MCL von 6° 40′ bildet. Man verlängere CP und Cp, bis sie die Tangente von M in D und E schneiden, ziehe aus M die Linien MB und MA winkelrecht auf CP und Cp, und es ist $\angle DMB = PCL = pCG = 45^\circ\, 20'$; $\angle PCM = PCL - MCL = 45^\circ\, 20' - 6^\circ\, 40' = 38^\circ\, 40'$. Nach einer bekannten Eigenschaft der Ellipse hat man aber:

$$CP^2 = CB \,.\, CD,$$
$$Cp^2 = CA \,.\, CE.$$

Da nun

$$BM = CM \,.\, \sin PCM,$$
$$CB = AM = CM \,.\, \cos PCM = CM \,.\, \cos \,.\, 38^\circ\, 40',$$
$$DB = BM \,.\, \tang DMB = CM \,.\, \sin PCM \tang pCG = CM \,.\, \sin 38^\circ\, 40' \tang 45^\circ\, 20',$$
$$CA = CM \,.\, \sin CMA = CM \,.\, \sin PCM = CM \,.\, \sin 38^\circ\, 40',$$
$$AE = AM \,.\, \tang AME = CM \,.\, \cos PCM \cotg AEM = CM \,.\, \cos PCM \cotg pCG = CM \,.\, \cos 38^\circ\, 40' \cotg 45^\circ\, 20':$$

so ergiebt sich hieraus die halbe grofse Achse $CP = \{CB\,(CB + BD)\}^{\frac{1}{2}} = 1{,}05032 \,.\, CM$, und die halbe kleine Achse $Cp = \{CA\,(CA + AE)\}^{\frac{1}{2}} = 0{,}93410 \,.\, CM$, das Verhältnifs beider also ungefähr, wie 9 : 8.

Um auch $CG = Cg$, den konjugirten Halbmesser von CM, zu finden, ziehe man noch von P, parallel mit gC, die Ordinate PF auf CM, und es ist, wenn $CM = 1$ gesetzt wird:

$$ML = \sin MCL = \sin 6^\circ\, 40',$$
$$CL = \cos MCL = \cos 6^\circ\, 40',$$
$$DL = CL \,.\, \tang PCL = \cos 6^\circ\, 40' \tang 45^\circ\, 20',$$
$$DM = DL - ML = 0{,}88877:$$

In der Proportion $CD:DM = CP:PF$ sind daher drei Glieder bekannt, und deshalb $PF = 0{,}66070$. Für eine Ellipse ist aber, wenn α und β zwei konjugirte Halbmesser, y die Ordinate, und x die vom Mittelpunkte aus genommene Abscisse bedeuten:

$$y^2 = \frac{\beta^2}{\alpha^2}(\alpha^2 - x^2), \text{ also hier}$$

$$PF^2 = \frac{CG^2}{CM^2}(CM^2 - CF^2), \text{ folglich}$$

$$CM^2 - CF^2 : CM^2 = PF^2 : CG^2. \text{ Da sich aber}$$

$$CM^2 : CF^2 = CD^2 : CP^2 \text{ verhält, so ist auch}$$

$$CM^2 - CF^2 : CM^2 = CD^2 - CP^2 : CD^2, \text{ und}$$

$$CG^2 = \frac{CD^2 \,.\, PF^2}{CD^2 - CP^2}, \text{ woraus}$$

$$CG = 0{,}98779.$$

Durch unmittelbare Beobachtung der ungewöhnlichen Brechung im Hauptschnitte fand Huygens, dafs, wenn der Aether in der Luft eine sphärische Undulation von dem Halbmesser (Fig. 34.) $SK = N$ während derselben Zeit macht, in welcher er sich in dem Kalkspath in die sphäroidische Undulation gMG ausbreitet, das Verhältnifs von $N:CG$ nur ein wenig kleiner, als $8:5$ sei, oder dafs sich genauer $N:CG = 1{,}56962 : 0{,}98779$, folglich (Fig. 35.) $N:Cp = 1{,}56962 : 0{,}93410$, oder beinahe, wie $5:3$ verhalte. Da nun das Verhältnifs der gewöhnlichen Brechung, also das der Halbmesser der sphärischen Undulationen in der Luft und im Kalkspath, gleichfalls $5:3$ ist: so wird die mit der kleinen Achse (Fig. 36.) Cp der sphäroidischen Undulation HP beschriebene Kugel $ABDp$ die sphärische Undulation vorstellen, welche der Aether vermöge der gewöhnlichen Brechung im Kalkspath während derselben Zeit macht, in welcher er sich hier

vermöge der ungewöhnlichen Brechung in die sphäroidische Undulation *HP* ausbreitet.

Da sich das Verhältnifs *N* : *CG* für jeden Neigungswinkel im Hauptschnitte als konstant erwies, so konstruirte Huygens mittelst desselben die Richtung des ungewöhnlichen Strales in eben der Weise, in welcher man nach seiner Theorie die Richtung des gewöhnlich gebrochenen findet.

Ist (Fig. 37.) *BSAI* die Einfallsebene, und der Durchschnitt einer mit dem beliebigen Halbmesser *CA* beschriebenen Kugel, *SC* der auf die brechende Ebene *AB* unter dem Neigungswinkel $SCB = \alpha$ einfallende Stral: so erhält man nach der Huygensschen Theorie[1]) die Richtung *CI* des gewöhnlich gebrochenen Strales, wenn man *SF* senkrecht auf *CB*, die Linie *CD* in der Einfallsebene senkrecht auf *SC*, und *DK* in eben dieser Ebene senkrecht gegen *CD* so zieht, dafs sich $DK : CA = 5 : 3$ verhält, *DK* also den Halbmesser einer sphärischen Undulation in der Luft während derselben Zeit bedeutet, in welcher sich der Aether im Kalkspath in die halbkugelförmige Undulation *BIA* ausbreitet; wenn man ferner *CE*, in der Verlängerung von *FC*, aus der Proportion:

$5 : 3 = DK : CA = CF : CE = CA . \cos\alpha : CE$

bestimmt, aus welcher $CE = \frac{3}{5} CA . \cos\alpha$, das Loth *EI* gegen *CA* bis zu dem Kreise in *I* errichtet, und *C* mit *I* verbindet. Denn zieht man in der Erweiterung der brechenden Ebene die Linie *KT* winkelrecht gegen *CK*, so dafs eine durch *KT* gehende Ebene in eine solche Lage gebracht werden kann, dafs sie die Kugel berührt: so mufs *I* der Berührungspunkt sein, die zu *SC* gehörige sphärische Undulation in der

1) Th. I, pag. 242.

Luft sich folglich vermöge der gewöhnlichen Brechung in der Richtung der Ebene KTI im Kalkspath fortpflanzen. Weil nämlich

$$CF : CE = DK : CA,$$

und wegen der ähnlichen Dreiecke CDK und CSF:

$$CF : CS = DK : CK, \text{ so ist}$$
$$CE : CS = CA : CK, \text{ oder}$$
$$CE : CI = CI : CK,$$

der Winkel KIC also ein rechter, und KI eine Tangente der Kugel. Zugleich ergiebt sich hieraus

$$CK = \frac{DK \cdot CA}{CF} = \frac{DK \cdot CA}{CA \cdot \cos\alpha} = \frac{DK}{CA} CA \cdot \sec\alpha = \tfrac{8}{5} CA \cdot \sec\alpha.$$

In eben dieser Weise konstruirt Huygens nun auch die Richtung des ungewöhnlichen Strales im Hauptschnitte. Ist (Fig. 38.) gSG ein in der Erweiterung dieses Schnittes mit dem beliebigen Halbmesser Cg beschriebener Halbkreis, SC der in demselben unter dem Neigungswinkel $SCg = \alpha$ einfallende Stral, SF winkelrecht auf Cg, CD in der Einfallsebene senkrecht auf SC, und $DK = N$ auf CD so gezogen, daſs sich $N : CG = 8 : 5$ verhält; ist ferner ZC der in C senkrecht einfallende Stral, CL seine Verlängerung bis zur unteren Seite des Hauptschnittes, CM der zu ZC gehörige, und in der Ebene des Hauptschnittes liegende ungewöhnliche Stral, für welchen der Winkel $MCL = 6^{\circ}\,40'$: so erhält man die Richtung, in welcher der ungewöhnliche Stral von SC im Kalkspath fortgeht, wenn man CE, in der Verlängerung von FC, aus der Proportion:

$$8 : 5 = N : CG = CF : CE$$

bestimmt, aus welcher $CE = \tfrac{5}{8} CG \cdot \cos\alpha$, in E eine Parallele EI mit CM bis zur Ellipse gMG zieht, und C mit I verbindet. Denn errichtet man wieder in der

Erweiterung der brechenden Ebene die Linie KT winkelrecht gegen CK, so mufs I der Berührungspunkt der durch KT gehenden Ebene und des Ellipsoides, diese Ebene KTI also die Fortpflanzungsrichtung der zu SC gehörigen, in der Luft gebildeten sphärischen Undulation sein. Es ist nämlich

$$CF : CE = N : CG,$$

und wegen der ähnlichen Dreiecke CDK und CSF:

$$CF : CG = N : CK, \text{ folglich:}$$

$$CE : CG = CG : CK,$$

und daher KI eine Tangente des Ellipsoides. Zugleich ergiebt sich hieraus

$$CK = \frac{N.CG}{CF} = \frac{N.CG}{CG.\cos\alpha} = \frac{N}{CG} CG.\sec\alpha = \frac{8}{5} CG.\sec\alpha.$$

Eben so findet Huygens auch die Lage des ungewöhnlichen Strales in anderen, als solchen Ebenen, die entweder der Hauptschnitt selbst, oder ihm parallel sind. Denn ist (Fig. 39.) HVW der Durchschnitt der sphäroidischen Undulation mit der oberen brechenden Ebene des Krystalles, der kleinste Halbmesser dieser Ellipse also in dem Hauptschnitte gelegen, und die vorhin berechnete Linie $CG = 0{,}98779$, der auf derselben senkrechte gröfste Halbmesser aber der gröfste Halbmesser des Ellipsoides selbst, und daher die oben berechnete Linie $CP = 1{,}05032$; ist ferner SLB die auf HVW senkrechte Einfallsebene des Strales SC, und BC seine Projection auf die brechende Ebene: so erhält man auch hier die Richtung des zu SC gehörigen ungewöhnlichen Strales, wenn man wieder CD in der Einfallsebene winkelrecht auf CS, und $DK = N$ winkelrecht auf CD zieht, in der Erweiterung der brechenden Ebene die Linie KT senkrecht gegen CK errichtet, und durch KT eine Ebene so legt, dafs sie

das Sphäroid berührt. Geschieht dies in I, so ist CI die Richtung des zu SC gehörigen, ungewöhnlichen Strales. Wird eine mit KT parallele Tangente RQ an die Ellipse HVW gezogen, der Berührungspunkt H mit C verbunden, und durch CH und CM, den ungewöhnlichen Stral des in C in der Richtung CL senkrecht einfallenden, eine Ebene HCM gelegt: so ist CI in derselben befindlich, da es sich in der Theorie der Ellipsoide beweisen läfst, dafs die Berührungspunkte M, I, H, der unteren Grundfläche des Krystalles, der Ebene KTI, und der mit beiden parallelen Linie RQ in einer und derselben Ebene liegen müssen.[1]) Hier wird also der ungewöhnliche Stral aus der Einfallsebene herausgerückt. Wird aber IE parallel mit CM gezogen, so ist auch hier für jeden Neigungswinkel α:

$$CE = \frac{CH}{N} CH . \cos \alpha.$$

Wie sich aus dieser Theorie der ellipsoidischen Undulationen auch die übrigen noch nicht erklärten, und durch die Beobachtung gegebenen Resultate ableiten lassen, will ich jetzt nachweisen.

Um die unter 5. angegebene Erscheinung zu erklären, sei (Fig. 40.) gMG der Durchschnitt der ellipsoidischen Undulation mit dem Hauptschnitte, C ihr Mittelpunkt, gSG ein mit CG beschriebener, und in der Erweiterung des Hauptschnittes liegender Halbkreis, SC der unter dem Winkel $SCG = \alpha = 73^\circ\ 20'$ einfallende Stral, SF' senkrecht auf CG, CM der ungewöhnliche Stral des senkrecht einfallenden ZC, die Linie CE aus der Proportion $N : CG = CF : CE$ be-

1) *Tract. de lumine*, in der Ausgabe der *Op. reliqua* von 's Gravesande. *Amst.*, 1728., vol. I, pag. 75.

stimmt, aus E eine Parallele EI mit CM bis zur Ellipse gezogen, so dafs CI der zu SC gehörige ungewöhnliche Stral ist, CI bis R verlängert, welcher Punkt in der unteren, durch M gehenden Seite des Hauptschnittes liege, IH parallel mit EC auf CM gezogen, endlich ZC bis RM in L verlängert. Man hat alsdann, wenn CM wieder zur Einheit genommen wird:

$$CE = \frac{CG}{N}\, CG \,.\, \cos 73^\circ\, 20' = 0{,}17828,$$

$$EI^2 = \frac{CM^2}{CG^2}(Cg^2 - CE^2) = \frac{EG \,.\, gE}{CG^2},$$

$$EI = CH = 0{,}98357.$$

Aus den ähnlichen Dreiecken CIH und CRM folgt ferner $MR = 0{,}18126$, $LR = MR + \sin 6^\circ\, 40' = 0{,}29735$, und $CL = \cos 6^\circ\, 40' = 0{,}99324$. Dasselbe Verhältnifs aber, welches sich hier zwischen LR und CL ergeben hat, findet auch zwischen CF und FS Statt, indem $CF = FS \,.\, \tang 16^\circ\, 40' = 0{,}29938 \,.\, FS$; die rechtwinkeligen Dreiecke SCF und LCR sind daher ähnlich, und SR eine einzige gerade Linie.

Man sieht, dafs die unter 8. angegebene Beobachtung hierdurch gleichfalls erklärt sei. Denn sind die Neigungen der auf beiden Seiten von C einfallenden Stralen gleich, so hat für beide IH, und daher auch RM denselben Werth.

Unter 7. ist bemerkt worden, dafs das gewöhnliche Bild, wenn man es mit beiden Augen betrachtet, in der Erweiterung des Hauptschnittes höher, als das ungewöhnliche liege.

Um zuerst zu bestimmen, um wie viel das Bild durch die gewöhnliche Brechung gehoben werde, sei (Fig. 41.) A ein Punkt unter der unteren Seite des Hauptschnittes, und AC, AC' sein die Stralen, welche

auf die obere Seite desselben Schnittes so fallen, dafs sie gebrochen unter gleichen Neigungen in beide Augen S und S' gelangen. Es erscheint alsdann das Bild von A in dem Punkte A', in welchem sich die Verlängerungen der Stralen SC und $S'C'$ schneiden, und es liegt dieser Punkt in dem aus A auf CC' gefällten, und diese Linie in E halbirenden Lothe AE. Das gewöhnliche Brechungsverhältnifs ist hier das der Linien CA und CA', und man hat daher, wenn man des kleinen Winkels $SA'S'$ wegen $CA = EA$, und $CA' = EA'$ setzt:

$$EA' = \tfrac{3}{5}EA;\ AA' = \tfrac{2}{5}EA.$$

Durch die gewöhnliche Brechung wird also das Bild um 0,4 der Höhe des Krystalles gehoben.

Ist aber AC ein zu dem ungewöhnlichen Bilde gehöriger Stral, und haben die Buchstaben E, F, G.... dieselbe Bedeutung, wie in Fig. 40.: so ist CE aus der Proportion $N : CG = CF : CE$ zu bestimmen. Da jedoch die Dreiecke SCF und ECA' ähnlich sind, und man wieder des kleinen Winkels $SA'S'$ wegen $FS = CZ = CG$ setzen kann: so hat man

$$EA' = \frac{CG^2}{N} = \frac{0{,}98779^2}{1{,}56962} = 0{,}62163.$$

Es verhält sich also für das ungewöhnliche Bild die Höhe CL des Krystalles zu $EA' = 0{,}99324 : 0{,}62163 = 1 : 0{,}62586$; es wird dies Bild folglich nur um 0,37414 der Höhe des Krystalles gehoben, und liegt daher niedriger, als das gewöhnliche.

Beide Augen sind hier in der Erweiterung des Hauptschnittes, also, wenn die brechende Ebene ein gleichseitiger Rhombus ist, in der durch die kleinere Diagonale gehenden Ebene angenommen. Bringt man sie aber in die perpendikuläre, durch die gröfsere Diagonale gehende Ebene, so sieht man das ungewöhn-

liche Bild weiter von dem gewöhnlichen, immer in derselben Höhe bleibenden, entfernt, als bei der vorigen Lage der Augen. Auch dies ist eine nothwendige Folge der Gestalt des Durchschnittes (Fig. 39.) *HVW* der brechenden Ebene mit der ellipsoidischen Undulation. Denn hier ist (Fig. 41.)

$$EA' = \frac{CP^2}{N} = \frac{1{,}05032^2}{1{,}56962} = 0{,}70283.$$

Es verhält sich also $CL : EA' = 1 : 0{,}70761$, und deshalb wird hier das ungewöhnliche Bild nur um 0,29239 der Höhe des Krystalles gehoben.

So konnte Huygens also alle obigen, durch die Beobachtung gegebenen Resultate — mit Ausnahme der unter 10. bis 12. angeführten, von denen er sagt, dafs er sie aus seiner Theorie nicht habe ableiten können — aus der Voraussetzung sphäroidischer Undulationen erklären.

Da die Erweiterung, welche die Theorie der doppelt gebrochenen Stralen durch La Place's scharfsinnige Untersuchungen, und durch die Entdeckung der Polarisation des Lichtes erfahren hat, der neuesten Zeit angehört: so will ich hier nur noch eine andere, von Newton angegebene Konstruktions-Methode der ungewöhnlichen Stralen mittheilen.

Newton beruft sich bei einer flüchtigen Beschreibung der geometrischen Eigenschaften des Kalkspaths auf Huygens's ausführlicheren „*Tractatus de lumine*", und giebt hierauf folgendes Gesetz an, nach welchem sich aus der Richtung des einfallenden Strales die des ungewöhnlichen bestimmen lassen soll.[1]) Es sei (Fig. 42.) *BC* die brechende Oberfläche des Krystalles, *C* die Spitze der stumpfen Ecke, und *CL* ein

1) *Optice*, lib. III, quaest. 25., pag. 285.

auf die Grundfläche EF gefälltes Loth, welches mit der Kante CF einen Winkel LCF von 19° 3′ bildet (pag. 252.). Man verbinde L mit F, und nehme von der Linie LF ein Stück LM so, dafs der Winkel $LCM = 6° 40'$, der Winkel MCF also $= 12° 23'$ ist. Stellt nun SG einen, unter einem beliebigen Winkel einfallenden Stral vor, so bestimme man aus dem Brechungsverhältnisse 5:3 die Richtung des gewöhnlichen Strales GH, ziehe HK parallel und gleich mit LM, so dafs HK von H aus nach derselben Richtung gelegen ist, nach der LM von L aus liegt, verbinde G mit K, und es ist GK die Richtung des ungewöhnlichen Strales.

Wenn man auch annehmen wollte, dafs Newton diese Konstruktion nur als eine, für den Hauptschnitt giltige angesehen wissen wolle, so ist sie doch selbst hier nicht ausreichend. Nehmen wir z. B. den Fall, dafs der Stral SG gegen die obere Seite des Hauptschnittes unter einem Neigungswinkel von 73° 20′ einfalle, so ergiebt sich die Richtung des gewöhnlich gebrochenen Strales GH gegen das Einfallsloth GP aus der Proportion:

$$\sin 16° 40' : \sin PGH = 5 : 3,$$

aus welcher man den Winkel $PGH = 9° 54'$, und, wenn die Höhe des Krystalles $= 1$ gesetzt wird:

$$PH = \operatorname{tang} 9° 54' = 0{,}17453$$

erhält. Da nun

$$HK = LM = \operatorname{tang} 6° 40' = 0{,}11688, \text{ so ist}$$

$$\operatorname{tang} GKP = \frac{1}{0{,}29141} = \operatorname{tang} 73° 45'.$$

Dieser Winkel GKP soll aber, der Erfahrung gemäfs, 73° 20′ haben.

Der Irrthum, dem Newton hier unterliegt, ist so grofs, dafs er bei einem so gründlichen Kenner der

Optik unerklärlich sein würde, wenn es nicht aus der Flüchtigkeit, mit welcher er über diesen Gegenstand spricht, offenbar wäre, dafs er selbst die Erscheinungen, welche der Kalkspath darbietet, nicht beobachtet, sondern sich lediglich auf eine oberflächliche Kenntnifsnahme derselben aus der Huygensschen Schrift beschränkt habe.

So wie aber der Irrthum, in dem Newton befangen war, wenn er die Beseitigung der chromatischen Abweichung für unausführbar hielt, die heilsame Folge für die Optik hatte, dafs er das erste Spiegel-Teleskop zu Stande brachte: so hat er uns auch für das unzulängliche Gesetz, das er für die doppelte Brechung aufstellt, durch einen seiner genialsten Gedanken, dessen Wahrheit erst in unserer Zeit durch die Entdekkung des polarisirten Lichtes bestätigt ist, hinreichend entschädigt. Denn aus den unter 10. und 11. in dieser Abhandlung angegebenen Erscheinungen zieht er die Folgerung, dafs ein Lichtstral verschiedene, mit verschiedenen Eigenschaften versehene Seiten haben dürfte. [1]) Wenn nämlich, sobald die Hauptschnitte zweier Krystalle unter rechten Winkeln gegen einander gestellt sind, die in dem einen gewöhnlich gebrochenen Stralen im anderen ungewöhnlich, und die im ersteren ungewöhnlich gebrochenen im anderen gewöhnlich gebrochen werden; so könne man nicht zwei verschiedene Arten von unter sich verschiedenen Stralen annehmen, von denen einige immer und in jeder Lage gewöhnlich, andere immer ungewöhnlich gebrochen werden, sondern es sei vielmehr zwischen den

1) *Optice*, lib. III., quaest. 26., pag. 288. *Annon radiorum luminis diversa sunt latera, diversis proprietatibus congenitis praedita?*

Stralen, welche gewöhnliche und ungewöhnliche genannt werden, kein anderer Unterschied, als der vorhanden, daſs ein und derselbe Stral verschiedene Seiten den Hauptschnitten zukehre. Sind dieselben Seiten eines Strales gegen dieselben Theile beider Krystalle gerichtet, so wird er auf dieselbe Weise in beiden gebrochen. Ist aber die Seite eines Strales, die in der Richtung des Hauptschnittes in dem einen Krystalle liegt, neunzig Grade von der Seite desselben Strales entfernt, welche in den Hauptschnitt des anderen Krystalles fällt: so wird dieser Stral in beiden Krystallen auf verschiedene Weise gebrochen, aus dem ungewöhnlichen wird ein gewöhnlicher, und umgekehrt. Jeder Stral könne daher so betrachtet werden, als hätte er zwei entgegengesetzte Seiten, welche die Eigenschaft haben, die ungewöhnliche Brechung zu bewirken, und zwei andere entgegengesetzte, denen diese Eigenschaft nicht zukommt. Es bleibt zu untersuchen übrig, fügt Newton hinzu, ob es nicht noch andere Erscheinungen gebe, bei denen der Unterschied zwischen diesen verschiedenen Seiten eines und desselben Strales noch mehr hervortritt.

Ich würde hier noch die Versuche, die Huygens gemacht hat, die Entstehung der gröſseren Höfe und der Nebensonnen zu erklären, anführen müssen. Da sich jedoch seine Erklärungen nicht bewährt haben, so will ich dieselben lieber in der folgenden Abhandlung, im Zusammenhange mit den mehr befriedigenden Anderer mittheilen.

Edme Mariotte.

Gest. 1684.

Er giebt die unter allen befriedigendste Erklärung der gröfseren Höfe, die einen inneren rothen Saum haben, und der Nebensonnen — Die von Jordan und Fraunhofer gegebene Erklärung der kleineren Höfe, in denen der innere Saum blau ist — Die Geschichte dieses Theiles der meteorologischen Optik.

Edme Mariotte, Prior zu St. Martin sous Beaume in der Nähe von Dijon, und Mitglied der Akademie der Wissenschaften zu Paris, über dessen sonstige Lebensumstände wenig berichtet wird, hat sich nicht nur durch das von ihm entdeckte und nach ihm benannte aerostatische Gesetz, dafs die Dichtigkeit der Luft dem Drucke proportional ist, sondern auch durch eine Erklärung des Entstehens der gröfseren Höfe und der Nebensonnen, die befriedigender ist, als alle anderen, einen unvergänglichen Namen in der Geschichte der Physik erworben.

Die farbigen, die Sonne und den Mond umgebenden, und unter dem Namen der Höfe bekannten Ringe haben entweder einen Halbmesser von nur wenigen Graden, und sind dann an der inneren, den Sternen zugewandten Seite blau, und an der äufseren roth (*coronae*), oder sie haben auch einen gröfseren Halbmesser, gewöhnlich von 22 oder 44 Graden, und sind dann an der inneren Seite roth, und an der äufseren blau (*halones*). Zugleich mit diesen gröfseren Höfen zeigen sich zuweilen glänzende Flecke am Himmel in gleicher Gröfse mit den Gestirnen. Erscheinen sie in der Entfernung des ersten gröfseren Hofes, oder wenigstens nicht in einer viel gröfseren, so heifsen sie Nebensonnen oder Nebenmonde (*parhelii*, *paraselenae*); sind sie in weiterer Entfernung von den Gestirnen, oder liegen sie ihnen gegenüber, so werden sie Ge-

gensonnen oder Gegenmonde (*anthelii*, *antiselenae*) genannt.

Da es hieraus offenbar ist, dafs den kleineren und gröfseren Höfen eine verschiedene Ursache zum Grunde liegen müsse, sich auch die Nebengestirne nicht immer gleichzeitig mit den gröfseren Höfen zeigen: so will ich die Erklärungen, die man über eine jede Art dieser Phänomene zu geben versucht hat, von einander trennen.

Die kleineren Höfe.

Einen kleineren Hof bemerkt man nicht nur um die Sonne, den Mond und andere gröfsere Sterne, sondern auch um eine Lichtflamme, wenn man sie bei kalter Luft durch die Dünste betrachtet, die von kochenden Flüssigkeiten aufsteigen. Man sieht ihn deshalb auch bei dem Hineinlassen der Luft in einen gläsernen Recipienten, hinter dem eine Lichtflamme steht, wenn sich die in der Atmosphäre enthaltene Feuchtigkeit in dem kälteren Raume des Recipienten zu Wasserdunst niederschlägt, wie dies schon Otto v. Guericke bemerkt hat.[1]) Aus eben diesem Grunde sieht man auch einen kleineren Hof um eine Lichtflamme entstehen, wenn sie durch eine leicht angehauchte Glasplatte betrachtet wird, indem er dabei um so gröfser erscheint, je kleiner die Dunstbläschen auf dem Glase sind. Ein ähnliches Phänomen hat man endlich auch auf hohen Bergen um den, auf eine dichte Wolke fallenden Schatten des Kopfes beobachtet. So erzählt Bouguer,[2]) dafs er und seine Gefährten auf

1) *Experimenta Magdeb. Amstel.*, 1672., pag. 89. Guericke sahe einen Hof entstehen, als zufällig die Sonnenstralen auf den Recipienten fielen.

2) *Mém. de l'acad. de Paris.* 1744. pag. 265.

dem Pichincha ihren Kopf von einer Art von Glorie umgeben sahen, die aus drei koncentrischen, an dem äufseren Saume rothen Farbenringen bestand, welche einen Durchmesser von ungefähr $5^{\circ}\frac{2}{3}$, 11° und 17° hatten, und zugleich mit einem vierten, kaum erkennbaren Ringe von einem weifsen Kreise umgeben wurden, dessen Durchmesser etwa 67° betrug. Auch Scoresby sahe dergleichen Glorien auf den dichten Nebeln, die in den Polar-Gegenden über dem Meere schweben.[1])

Newton, Mariotte, Wood, Jordan und Fraunhofer haben das Phänomen der kleineren Höfe auf die optischen Grundgesetze zurückzuführen versucht.

Newton, der zuerst die kleineren Höfe von den gröfseren unterscheidet, während Descartes, Dechales und Huygens, die sich vor ihm mit diesem Theile der meteorologischen Optik beschäftigt hatten, derselben nicht einmal erwähnen, spricht die Vermuthung aus, dafs diese Höfe durch die Anwandlungen entstehen dürften, in welche die Stralen bei ihrem Durchgange durch die an Länge verschiedenen Sehnen kleiner Dunstbläschen versetzt werden, indem er finde, dafs alsdann der Durchmesser des ersten, zweiten und dritten rothen Ringes $7^{\circ}\frac{1}{4}$, $10^{\circ}\frac{1}{4}$ und $12^{\circ}\,33'$ haben müsse, wenn z. B. der des Dunstkügelchens $\frac{1}{500}$ Zoll betrüge. Nehme man die Bläschen kleiner an, so zeige die Rechnung, dafs die Durchmesser der Höfe gröfser werden. Im Juni 1692. habe er, indem die Stralen von einer ruhigen Wasserfläche reflektirt wurden, drei Höfe um die Sonne beobachtet. Der erste, der einen Durchmesser von 5 oder 6 Graden hatte, sei gegen die Sonne hin blau, in der Mitte weifs, und nach aufsen

1) Brandes in dem Artikel „Hof" der neuen Ausgabe des Gehlerschen Wörterbuches.

hin roth gewesen; der zweite Hof mit einem Durchmesser von ungefähr 9° einwärts blau, grün in der Mitte, und blafsroth nach aufsen hin; der dritte, dessen Durchmesser ungefähr 12° hatte, im inneren Rande blafsblau, und im äufseren blafsroth. [1])

Gegen diese Erklärung würde man jedoch den Einwurf machen können, dafs die auf solche Weise entstandenen homogenen Stralen nicht gesondert genug sein, um einen farbigen Ring um die Sonne bewirken zu können. [2])

Mariotte sucht die Ursache der kleineren Höfe in der zweimaligen Brechung, welche die Stralen bei ihrem Durchgange durch die Dunstbläschen erleiden, [3]) eine Erklärung, die schon deshalb nicht statthaft ist, weil alsdann der innere Saum nicht blau, sondern roth, der Durchmesser der Höfe auch, wie sich hernach zeigen wird, gröfser sein müfste.

Wood nimmt an, dafs die Dunstbläschen in ihrem Inneren hohl sind, und dafs daher die Brechungen und Reflexionen der Stralen nur in der äufseren Hülle derselben erfolgen. Ist (Fig. 43.) *ADF* ein solches hohles Dunstbläschen, und *SA* ein auf den Halbmesser *CA* senkrecht einfallender Stral: so werde derselbe nach *B* gebrochen, nach *D* reflektirt, und in *D* zum zweiten Male nach dem Auge *O* hin gebrochen, so dafs, wenn *OD* bis *K*, und *SA* bis zur Linie *OK* in *E* verlängert wird, der einfallende Stral *SA* um den Winkel $SEK = sOK = ACD = 2 . ACB$ abgelenkt erscheine. Da der Winkel *ACB* für rothe Stralen gröfser ist, als für blaue: so sei für jene auch der

1) *Optice*, lib. II, pars 4. observ. 13. pag. 247.
2) Gilbert's Ann., Bd. 18. pag. 1.
3) *Oeuvres de Mariotte. Leide*, 1717. pag. 268.

Winkel *SEK* gröfser, als für diese, und deshalb zeige sich der äufsere Saum roth. Dafs sich aber das Licht, welches den Hof bildet, nur bis zu einer gewissen Entfernung von dem Gestirne erstrecken könne, sei daraus offenbar, dafs, in welcher Richtung auch die Stralen in *A* einfallen mögen, der gebrochene Stral *AB* des auf den Halbmesser *CA* senkrecht einfallenden *SA* die Grenze aller in *A* gebrochenen Stralen ist. Die wiederholten Farbenreihen würde man aus fortgesetzten Reflexionen und Brechungen der Stralen in der Hülle der Dunstbläschen zu erklären haben. [1])

Gegen diese Ansicht würde aber nicht allein der Umstand sprechen, dafs alsdann, im Widerspruche mit der Erfahrung, der Halbmesser des zweiten Hofes immer doppelt, und der des dritten dreimal so grofs, als der des ersten sein müfste, sondern auch die Unwahrscheinlichkeit der Voraussetzung, dafs die Intensität der Farben nach solchen und so vielen Brechungen und Reflexionen noch grofs genug sein könne, um eine dritte, oder gar vierte Farbenreihe bemerkbar zu machen.

Aller dieser Einwürfe wegen, zu denen man sich bei jenen Hypothesen veranlafst sieht, mufs man der von Jordan [2]) gegebenen, und von Fraunhofer [3]) weiter ausgebildeten Erklärung der kleineren Höfe um so mehr den Vorzug einräumen, da sie selbst das Phänomen der Glorien umfafst. Indem die an den Dunstkügelchen (Fig. 44.) *M*, *N*, *P*..... vorbeigehenden Stralen dem Beugungsgesetze gemäfs so abgelenkt werden, dafs die rothen *MR*, *NR'*, *PO* von der Rich-

1) *Mem. of the Philos. Society of Manchester*. 1790. vol. III, pag. 336.

2) Gilbert's Ann., Bd. 18. pag. 1.

3) Schumacher's „Astron. Abhandlungen", 3. Heft.

tung der einfallenden SM, SN, SP weiter abweichen, als die gelben MG, NO, PG'', und diese wieder weiter, als die blauen MO, NB', PB'': sehe ein Auge in O um S herum einen Farbenring, der an der äusseren Seite roth ist, und dessen Halbmesser von dem Winkel POS abhängt, der um so gröſser sein müsse, je kleiner der Durchmesser der Dunstbläschen ist. Dadurch aber, daſs sich die Farbenfolgen um M, N, P...., wie dies alles aus den Beugungsgesetzen bekannt sei, wiederholen, entstünden die übrigen Farbenringe, und die Höfe, die man um den Schatten des Kopfes beobachtet hat, dadurch, daſs die an den Dunstkügelchen, welche den Kopf umgeben, gebeugten Stralen von den Dunstbläschen, auf welche der Schatten fällt, reflektirt würden.

Diese Erklärung läſst um so weniger einen Zweifel an ihrer Wahrheit übrig, da Fraunhofer dergleichen Höfe nicht bloſs entstehen sahe, wenn er zwischen zwei Plangläser eine Menge runder und sehr kleiner Staniolscheibchen brachte, und durch dieselben mit einem Fernrohre eine Lichtöffnung betrachtete, sondern auch, wenn das Licht an durchsichtigen Kügelchen gebeugt wurde. Denn leitete er das durch eine Oeffnung einfallende Sonnenlicht auf eine horizontal liegende, und mit vielen kleinen Glaskügelchen bestreute Glasplatte, so daſs es von dieser zurückgeworfen auf einen zweiten Spiegel fiel: so zeigte sich das von diesem reflektirte, und durch ein Fernrohr betrachtete Bild der Oeffnung mit einem Hofe umgeben, dessen äuſserer Saum roth war.

Auch durch einen von Dove angestellten Versuch ist die Wahrheit der Jordanschen Erklärung bestätigt worden. Denn bei den Beugungserscheinungen, welche ein quadratisches Glasgitter (von 1140 Furchen

auf einem Pariser Zoll) gab, das auf der entgegengesetzten Seite angehaucht war, und durch welches mit einem Taschenperspektive eine Lichtflamme betrachtet wurde, verhielt sich diese angehauchte Seite, wie ein zweites Gitter.[1])

Die gröfseren Höfe.

Eine Erklärung der gröfseren Höfe, bei denen der innere Saum immer roth, und scharf begrenzt ist, hat zuerst Descartes zu geben versucht. Da, wie er sagt, dergleichen Höfe nie entstehen, wenn es regnet, in den oberen Regionen der Luft aber nur flüssige oder gefrorne Wassertheilchen vorhanden sein könnten: so müsse man die Ursache derselben in durchsichtigen Eissternchen (*stellulae, ex glacie pellucida compositae*) suchen. Je konvexer ihre Oberfläche sei, desto gröfser würden die Höfe erscheinen müssen.[2])

Dechales ist der Meinung, dafs die gröfseren Höfe durch solche Stralen entstehen, die ohne Reflexion durch die Wassertropfen hindurchgehen, und zweifelt um so weniger an der Wahrheit dieser Erklärung, da man, sobald eine gläserne, mit Wasser gefüllte Kugel gegen die Sonne gehalten wird, auf einer weifsen Ebene hinter der Kugel einen hellen Ring wahrnehme, der einen Durchmesser von 23° habe, und dessen Grenze sich farbig zeige.[3]) Da Newton eben diese Meinung ausspricht, so werde ich auf dieselbe sogleich zurückkommen.

Huygens wurde auf seine Erklärung der gröfseren Höfe durch eine Aeufserung Descartes's geleitet,

1) Radicke's „Handbuch der Optik", Th. II, pag. 291.
2) *Meteora*, cap. 9.
3) *Cursus mathem. Lugd.*, 1690. tom. III, pag. 758.

dafs die Hagelkörner zuweilen nur in ihrem Inneren undurchsichtig, in der diesen undurchsichtigen Kern umgebenden Hülle aber durchsichtig sind. Die Stralen, die bei ihrem Eintritte in die letztere (Fig. 45.) *A* so gebrochen werden, dafs sie den Kern berühren, müfsten nach ihrer Durchkreuzung in *D* einen Kegel *ODF* begrenzen, in den kein Licht dringen kann, so dafs ein Auge in *O*, wenn die Winkel *EOD* und *ODF* gleich sind, innerhalb des Winkels *EOD* kein Licht erhalte, sondern erst von solchen Kügelchen *B*, die aufserhalb desselben liegen. Daher müsse man um das Gestirn *S* einen an dem inneren rothen Saume scharf begrenzten Hof sehen, dessen Durchmesser von dem Winkel *EOD* abhänge. Huygens berechnet das Verhältnifs der Durchmesser des ganzen Kügelchens und des undurchsichtigen Kernes, wie 1 : 0,473, wenn der Halbmesser des Hofes 22° hat.[1])

Gegen diese Hypothese, der lange Zeit hindurch der Vorzug vor allen übrigen gegeben wurde, läfst sich jedoch, wie dies schon Weidler that,[2]) der Einwurf machen, dafs die Voraussetzung gleich grofser Kügelchen mit einem und demselben Verhältnisse zwischen ihren Durchmessern und denen ihrer undurchsichtigen Kerne eine sehr unwahrscheinliche sei. Für um so mehr unstatthaft aber mufs man diese Hypothese halten, wenn man erwägt, dafs zuweilen zwei oder gar drei gröfsere Höfe gleichzeitig beobachtet wurden, dafs man folglich sogar mehrere Arten solcher gleichzeitig vorhandenen Kügelchen annehmen müfste.

Newton erklärt die gröfseren Höfe auf dieselbe Weise, wie Dechales. Das Licht, welches nach zwei

1) *Dissertatio de coronis et parheliis.*
2) *Commentatio de parheliis. Vitemb.*, 1738. pag. 23.

Brechungen ohne eine Reflexion durch die Regentropfen hindurchgeht, müsse in einer Entfernung von ungefähr 26° von dem Gestirne am stärksten sein, und von hier aus zu beiden Seiten allmählig abnehmen. Dasselbe müsse auch bei dem Lichte Statt finden, das durch gefrorne Wasserkügelchen (*per grandinem globosam*) hindurchgeht. Nehme man mit Huygens an, daſs diese Kügelchen nur in ihrem Inneren undurchsichtig sind, so würde sich hieraus die scharfe Begrenzung des inneren rothen Saumes ergeben. [1])

Newton giebt den Grund nicht an, weshalb das Licht in einer Entfernung von 26° von dem Gestirne am lebhaftesten sein müsse; wahrscheinlich hat er sich aber hierbei von folgender Betrachtung leiten lassen. Ist (Fig. 46.) der Kreis um C der Durchschnitt des Kügelchens, SF der unter dem Winkel SFM einfallende Stral, der zum zweiten Male in G nach dem Auge O hin gebrochen wird, GP die Verlängerung von FG, LN eine parallel mit SF durch G gezogene Linie, ist ferner FK die Verlängerung von SF, und Os parallel mit SF: so ist die Menge des innerhalb eines jeden Grades einfallenden Lichtes um so gröſser, je näher die Einfallspunkte an A, dem Punkte liegen, durch welchen der senkrechte Stral hindurchgeht, und die Reflexion des Lichtes um so bedeutender, je schräger die Stralen gegen die Oberfläche des Tropfens einfallen, je weiter also von A die Einfallspunkte entfernt liegen. Weil aber der Einfallswinkel $SFM = ACF = \alpha$ um so kleiner wird, je näher F an A liegt: so darf man die Menge des Lichtes dem $\cos\alpha$, die Gröſse der Zerstreuung aber dem $\sin\alpha$, die Intensität des Lichtes in O folglich dem Produkte $\sin\alpha \cos\alpha$

1) *Optice*, lib. I, pars 2. prop. 9. pag. 127.

proportional setzen, das für $\alpha = 45^{0}$ ein Maximum wird. Da nun der Winkel $OGN = 2 . GFK$, so ist für die rothen Stralen der Ablenkungswinkel $sOG = OGN = 25^{0}\ 56'$, wenn $\alpha = 45^{0}$, und das Brechungsverhältnifs der rothen Stralen aus der Luft in das Wasser $= 1{,}333$; für die violetten Stralen aber, deren Brechungsverhältnifs $= 1{,}345$, ist der Ablenkungswinkel $sOG = 26^{0}\ 34'$.

Gegen diese Erklärung liefse sich nicht blofs einwenden, dafs sie die Möglichkeit des Entstehens eines zweiten, oder gar dritten gröfseren Hofes nicht umfafst, sondern auch, dafs die scharfe Begrenzung des rothen Saumes aus der Huygensschen Hypothese gefolgert wird. Die Einwürfe, zu denen die letztere veranlafst, gelten daher auch gegen die Newtonsche Hypothese.

Befriedigender, als alle jene Erklärungen, ist die von Mariotte gegebene. Da die flimmernden Eisnadeln, mit denen man die Luft zuweilen erfüllt sieht, dreiseitige reguläre Prismen sind, diese aber, ehe sie sich zu Sternchen an einander fügen, vermöge ihrer Leichtigkeit sich längere Zeit in der Luft erhalten können: so folgert Mariotte hieraus, dafs die Ursache der gröfseren Höfe in solchen Eisstückchen (*petits filamens de neige*, *médiocrement transparens*) von mäfsiger Durchsichtigkeit zu suchen sein dürfte. Denn da sie sich, die Luft überall erfüllend, nach allen Richtungen hin drehen, so würden sie auch in eine solche Lage kommen müssen, dafs ihre Achse auf der vom Auge nach der Sonne gezogenen Linie senkrecht steht, die Durchschnittsebene der Prismen also, in welcher die Brechung erfolgt, ein reguläres Dreieck ist; dann aber müfsten in dem Abstande von der Sonne, in welchem sich die gröfseren Höfe ge-

wöhnlich zeigen, die meisten Stralen ins Auge des Beobachters gelangen.

Mariotte berechnet, indem er das Brechungsverhältnifs $\frac{4}{3}$ zum Grunde legt, für zwanzig verschiedene Werthe des Neigungswinkels (Fig. 47.) SDB den Ablenkungswinkel SGL, und findet den kleinsten Werth desselben $= 23^\circ\, 36'$, wenn der Neigungswinkel $SDB = 48^\circ$. Ist dieser aber $= 59^\circ$, so erhält er den Winkel $SGL = 24^\circ\, 52'$, und denselben Winkel $= 24^\circ\, 54'$, wenn $SDB = 36^\circ$, so dafs sich der Ablenkungswinkel nur um $2^\circ\, 34'$ ändert, während sich der Neigungswinkel um 23° geändert hat, die Eisnadeln also für die kleinste Ablenkung mehr, als für jede andere in der erforderlichen Lage sein werden, um Licht zum Auge O, welches den Hof unter dem Winkel $sOG = SGL$ sieht, senden zu können. Da man einen gröfseren Hof gewöhnlich in einer Entfernung von 23 bis 24 Graden von dem leuchtenden Gestirne beobachtet habe, und der rothe Saum deshalb scharf begrenzt sein müsse, weil unter einem kleineren Winkel, als dem von $23^\circ\, 36'$, kein Licht ins Auge kommen könne: so findet **Mariotte** überall seine Theorie im Einklange mit der Erfahrung. [1])

Mariotte hat es zwar unterlassen, die Entstehung

1) Auf einem kürzeren Wege erhält man den kleinsten Ablenkungswinkel mittelst der pag. 26. unter (1) und (5) berechneten Gleichungen. Es ist dort der Ablenkungswinkel $x = p + s - C$, folglich für den kleinsten Werth dieses Winkels: $p = \frac{x + C}{2}$, und nach (5), weil das Prisma ein reguläres ist, $\sin \frac{x + C}{2} = \sin \left\{ \frac{x}{2} + 30^\circ \right\} = n \sin q = n \sin 30^\circ$. Setzt man das Brechungsverhältnifs der mittleren Stralen aus der Luft in das Eis $= 1{,}31$: so ergiebt sich hieraus der kleinste Ablenkungswinkel $x = 21^\circ\, 50'$ für den Einfallswinkel $p = 40^\circ\, 55'$. Für rothe Stralen ist $n = 1{,}306$, und $x = 21^\circ\, 32'$.

eines zweiten gröfseren Hofes, wie man dergleichen nicht selten beobachtet hat, nachzuweisen; Venturi und Brandes aber haben diese Lücke in der Mariotteschen Theorie ergänzt.

So wie die Stralen, die unter dem kleinsten Ablenkungswinkel ins Auge kommen, deshalb einen Hof erzeugen, weil sie dichter sind, als die zu gröfseren Ablenkungswinkeln gehörigen: so müssen auch die Stralen, die unter dem gröfsten Ablenkungswinkel das Auge erreichen, wenn also der Einfallswinkel in (Fig. 47.) E' beinahe $=90^\circ$, und die Gesichtslinie OE' beinahe in die Seite $A'C'$ des Prisma fällt, einen Hof erzeugen, weil unter einem gröfseren Ablenkungswinkel gar kein Licht ohne eine Reflexion ins Auge gelangen kann. Nimmt man aber den Einfallswinkel in $E'=90^\circ$, so ergiebt sich für das mittlere Brechungsverhältnifs 1,31 aus der Luft in das Eis der Ablenkungswinkel $SG'L'$ $=43^\circ\,28'$, also ungefähr doppelt so grofs, als der Winkel von $21^\circ\,50'$ für die kleinste Ablenkung, wie dies den Beobachtungen gemäfs ist. Hier hat jedoch schon eine geringe Aenderung in der Lage der Prismen eine beträchtliche in der Gröfse des Ablenkungswinkels zur Folge, so dafs nur der äufsere blaue Saum merklich werden, die übrigen Farben aber sich mit dem Brechungslichte anderer Prismen mischen werden.

Um das Entstehen des rothen Saumes, der bei dem zweiten gröfseren Hofe nichtsdestoweniger merklich zu sein pflegt, erklären zu können, nimmt Venturi an, dafs auch die sechsseitigen Schneesterne, zu denen sich die Eisnadeln zusammensetzen, zur Erzeugung des zweiten Hofes beitragen könnten. Ist (Fig. 48.) $ACHG$ der Durchschnitt eines solchen Sternes, so könne der einfallende Stral $\alpha\beta$, nachdem er in die Richtung $\beta\gamma$ gebrochen ist, in das zweite Prisma BCD in δ so ein-

treten, dafs $\gamma B = \delta B$, und dann erleide der Stral in δ dieselbe Brechung, wie in γ, und in ε dieselbe, wie in β. Dieser gleichen Brechungen wegen würden die in ε austretenden Stralen unter sich parallel, und könnten daher wirksame Stralen sein. Venturi sieht sich aber bei dieser Erklärung veranlafst, die brechenden Winkel A und C auf 55° bis 56° zu vermindern, damit der Ablenkungswinkel von $\alpha\beta$ und $\varepsilon\zeta$ ungefähr 44° betrage.

Da jedoch die Voraussetzung gleichseitiger Prismen allen übrigen Rechnungen zum Grunde liegt, so dürfte einer anderen, von Brandes gegebenen Erklärung der Vorzug einzuräumen sein. Ist nämlich das Prisma ABF eins von denen, durch welche der erste Hof erzeugt wird, für welches also, wie vorhin gefunden wurde, der zu β gehörige Einfallswinkel $p = 40^\circ\,55'$: so ist der Neigungswinkel $\alpha\beta F = 49^\circ\,5'$, der Winkel $A\beta\gamma = 60^\circ$, und da $A = 60^\circ$, der Winkel $A\gamma\beta = 60^\circ$, und der Winkel $\delta\gamma B = 49^\circ\,5'$. Nehme man nun an, dafs ein zweites Prisma CBD gegen das erste eine solche Lage habe, dafs der Winkel $\gamma B\delta = 81^\circ\,50'$, so werde der Winkel $\gamma\delta B = 49^\circ\,5'$, und daher der Stral in den Punkten δ und ε wieder eben so, wie in β und γ abgelenkt werden. Da nun die Ablenkung in jedem Punkte $10^\circ\,55'$ betrage, so werde dadurch der Stral $\varepsilon\zeta$ von dem Strale $\alpha\beta$ um ungefähr 44° abweichen. So sein es also die in zwei Prismen, die unter einem Winkel von $81^\circ\,50'$ gegen einander geneigt sind, unter der kleinsten Ablenkung gebrochenen Stralen, die zum lebhaften Hervortreten der Farbensäume in dem zweiten Hofe beitragen könnten. Es gewinne diese Erklärung um so mehr an Wahrscheinlichkeit, da sich der Stellungswinkel der beiden Prismen um mehrere Grade ändern kann, ohne dafs dies eine merkliche Aenderung in dem Ablenkungswinkel zur Folge hat.

Selbst ein dritter Hof, wie einen solchen Hevel als einen weifsen Kreis in einer Entfernung von ungefähr 90° von der Sonne beobachtet hat, würde sich aus der Mariotteschen Theorie nachweisen lassen. Stralen, die unter dem Neigungswinkel (Fig. 47.) $SD''B''$ $=76^{\circ}\,32'$ auf das Prisma $A''B''C''$ fallen, gelangen unter dem Winkel $D''FC''=40^{\circ}\,14'$ zur Seite $A''C''$, werden deshalb reflektirt, und kommen so in das Auge O, dafs der Ablenkungswinkel $E''Os=86^{\circ}\,56'$.

Es ergeben sich also die verschiedenen gleichzeitigen Höfe so ungezwungen aus der Mariotteschen Theorie, dafs kaum ein Zweifel an ihrer Wahrheit übrig bleiben kann, zumal da jene flimmernden Eisnadeln, mit denen die Luft selbst in der Nähe der Erde erfüllt ist, eben so, wie die gröfseren Höfe, in kälteren Gegenden häufiger sind, als in wärmeren.

Die Nebensonnen und Nebenmonde.

Die Nebensonnen oder Nebenmonde zeigen sich bei niedrigem Stande der Gestirne, und zwar in gleicher Höhe mit denselben, in der Entfernung des grösseren Hofes, und kehren ihnen, so wie dieser, einen rothen Saum zu. Ereignet sich das Phänomen bei einem höheren Stande der Gestirne, so sind die Nebensonnen oder Nebenmonde um so mehr aus der Entfernung des Hofes herausgerückt, je höher jene stehen.

Nicht immer aber ist das Phänomen so einfach. Scheiner beobachtete den 20. März 1629. in Rom zu gleicher Zeit vier Nebensonnen, die in einem durch die wahre Sonne gehenden weifsen Horizontal-Kreise lagen, der die Breite der letzteren hatte, während diese selbst von zwei koncentrischen farbigen Höfen umgeben war. Von den beiden, dem Gestirne zunächst liegen-

den Nebensonnen gingen glänzende Schweife aus, die sich in den Horizontal-Kreis erstreckten.[1])

Noch zusammengesetzter, als dieses sogenannte Römische Phänomen, war das von Hevel den 20. Februar 1661. in Danzig beobachtete. Hier zeigten sich nicht blofs drei Höfe, zwei farbige, und ein dritter weifser, der einen Halbmesser von ungefähr 90° hatte, sondern auch der weifse Horizontal-Kreis mit fünf Nebensonnen, von denen eine der wahren Sonne gegenüber lag. An den oberen Stellen der beiden, dies Gestirn zunächst umgebenden Höfe waren zwei, sie berührende Bogen bemerkbar, deren Mittelpunkt im Zenith zu liegen schien, und an der Durchschnittsstelle des inneren Hofes und des Berührungsbogens eine sechste Nebensonne.[2])

Eins der vollständigsten Phänomene dieser Art ist das von Lowitz am 18. Juni 1790. in Petersburg beobachtete.[3]) Statt eines einzigen Hofes von 22° im Halbmesser erschienen hier zwei, die sich ober- und unterhalb der Sonne (Fig. 49.) *S* in *a* und *b* durchkreuzten, und ein dritter doppelt so grofser Hof *fmi*. Ein berührender Bogen zeigte sich nicht blofs in *b*, sondern auch an der gegenüber liegenden Stelle des gröfseren Hofes in *m*, und in Entfernungen von 120° von dieser Stelle in *f* und *i*. Ueberdies erschienen hier aufser dem weifsen Horizontal-Kreise noch zwei andere weifse Kreise, die von der durch die Sonne und das Auge gehenden Vertikal-Ebene auf beiden Seiten um 30° abwichen, und sich unter einem Winkel von 60° an

1) *Descartes* „*Meteora*", cap. 10.
2) *Hugenii* „*Dissert. de coronis et parh.*"
3) *Nova Acta acad. Petrop.* 1794. tom. VIII, pag. 384.

zwei Stellen trafen, von denen die eine der Sonne gegenüber im Horizontal-Kreise, die andere aber in der Sonne selbst lag. Der Nebensonnen zeigten sich hier fünf, die beiden farbigen in S und S', ein wenig aufserhalb der Höfe *ab*, zwei andere farblose in grösserer aber gleicher Entfernung, und eine fünfte der Sonne gegenüber liegende, und gleichfalls farblose. Alle diese Nebensonnen aber lagen in dem Horizontal-Kreise. Von den beiden Sonnen S und S' erstreckten sich zwei farbige, sonst nicht weiter beobachtete Bogen Sn und $S'p$ bis an einen der inneren Höfe.

Vor Huygens hatte Descartes allein es versucht, die Entstehung der Nebensonnen und der sie begleitenden weifsen Kreise zu erklären. Wie wenig ihm dies aber gelang, geht daraus hervor, dafs er zu seiner Erklärung der Annahme bedarf, es könnten sich Eisstückchen durch entgegengerichtete Luftzüge zu einer zusammenhängenden konvexen Masse von grosser Ausdehnung an einander reihen, und dessenungeachtet längere Zeit hindurch in der Luft schwebend erhalten.

Huygens nimmt bei seiner Erklärung cylinderförmige Eisnadeln an, die in ihrem Inneren undurchsichtige Cylinder enthalten, deren Halbmesser zu dem der ganzen bei allen ein und dasselbe Verhältnifs hat. Indem er mit seinem bekannten Scharfsinne die aus dieser Hypothese sich ergebenden Folgen berechnet, findet er z. B., dafs die Nebensonne einen Abstand von 24° 42′ von der wahren haben müsse, wenn diese 20° hoch steht, und 1 : 0,473 das Verhältnifs der Halbmesser der ganzen Cylinder und der undurchsichtigen ist, und dafs dieser Abstand 36° 18′ betrage, wenn die Sonne eine Höhe von 40° hat. Die Entstehung der

weifsen Kreise erklärt er durch eine Reflexion der Sonnenstralen von der konvexen Oberfläche der Cylinder.

Zu dem schon oben gegen eine solche Erklärung angeführten Grunde würde hier also noch der kommen, dafs man, da sich gewöhnlich die gröfseren Höfe gleichzeitig mit den Nebensonnen zeigen, ein gleichzeitiges Vorhandensein kugel- und cylinderförmiger Eisstückchen annehmen müfste.

Am befriedigendsten ist auch hier die Mariottesche Theorie. Während die gröfseren Höfe dadurch entstehen, dafs die Sonnenstralen in prismatischen Eisnadeln, die in allen denkbaren Lagen in der Luft schweben, gebrochen werden, hält Mariotte zur Erklärung des Entstehens der Nebensonnen nur noch die Voraussetzung für erforderlich, dafs zugleich mit diesen kleineren Prismen auch eine Menge gröfserer mit vertikalen Achsen in der Luft vorhanden sei. Es lasse sich kein Grund angeben, dafs die beiden Enden der Prismen unter allen Umständen gleich schwer sein müfsten; eine ungleiche Schwere der Enden aber habe eine vertikale Lage der Achsen zur Folge. So wie nun, wenn man durch ein, nahe an das Auge gebrachtes und vertikal gehaltenes Glasprisma eine Lichtflamme betrachtet, ein Bild der Flamme erscheint, das ihr einen rothen Saum zukehrt, und eine gleiche Höhe mit ihr hat: so müsse auch durch vertikale Eisprismen eine Nebensonne, deren innerer Saum roth ist, in gleicher Höhe mit der wahren Sonne entstehen. Wenn sich bei höherem Stande des leuchtenden Gestirnes die Nebensonnen zwar in dem weifsen Horizontal-Kreise, der dies Phänomen häufig begleite, aber ein wenig aufserhalb des Hofes zeigen: so sehe man eine ähnliche Erscheinung, wenn man zwei Flam-

men vertikal über einander stellt, das Auge in der Höhe der niedrigeren hält, und beide durch ein vertikales Glasprisma betrachtet. Das Bild der oberen Flamme, durch welche die höher stehende Sonne vorgestellt wird, erscheine dann seitwärts von dem Bilde der unteren, die Sonne in der Nähe des Horizontes vertretenden Flamme. Für das obere Bild sei die Brechungsebene nicht ein auf der Achse des Prisma senkrechter Durchschnitt, sondern ein ungleichseitiges Dreieck, in welchem die Stralen stärker gebrochen würden. Sehe man Höfe ohne Nebensonnen, so komme dies daher, weil dann wenig Prismen mit vertikalen Achsen in der Luft schweben; sehe man aber Nebensonnen ohne Höfe, so fehlen dann die kleineren Prismen.

Diese Theorie gewährt um so mehr Ueberzeugung, da sich alle übrigen, die Nebensonnen begleitenden Phänomene aus derselben ergeben.

Der weifse Horizontal-Kreis läfst sich, wie dies schon **Huygens** angab, aus der Reflexion der Sonnenstralen von den Seitenflächen der vertikalen Eisnadeln erklären. Ist (Fig. 50.) *BB* der Durchschnitt einer solchen Seitenfläche: so können in das Auge *O* nur Stralen kommen, die mit *BB* einen Neigungswinkel *BAO* bilden, der eine gleiche Gröfse mit dem Neigungswinkel *SAB* der einfallenden Stralen hat. Ist nun die Luft ringsum mit solchen vertikalen Eisnadeln erfüllt, so wird es deren eine hinreichende Menge geben, welche die erforderliche Lage gegen die Sonne haben, um Stralen ins Auge senden zu können, und dann wird man, weil das Bild hinter jedem Spiegel in derselben Entfernung liegt, in welcher sich der Gegenstand vor dem Spiegel befindet, durch die an einander grenzende Reihe der Sonnenbilder einen in gleicher Höhe mit der Sonne liegenden, horizontalen Kreis

sehen müssen, der eben so breit, wie die Sonne ist. Ein vertikaler weifser Kreis, den man zuweilen beobachtet hat, würde sich eben so aus horizontal schwebenden Eisprismen ergeben. Das gleichzeitige Erscheinen eines horizontalen und vertikalen weifsen Kreises würde man freilich nur aus der Voraussezzung erklären können, dafs in einer Region ein Luftzug herrsche, der den Prismen eine horizontale Lage giebt, während in einer anderen die Luft ruhig genug ist, damit eine hinreichende Menge von Prismen in vertikaler Lage bleiben könne. Die in dem Petersburger Phänomene unter einem Winkel von 30° gegen die, durch das Auge und die Sonne gehende Vertikal-Ebene geneigten weifsen Kreise, die man sonst sehr selten gesehen hat, würde man endlich daraus ableiten können, dafs die Ebene, auf welcher die Achsen der Prismen senkrecht sind, einen Winkel von 30° mit jener Vertikal-Ebene bildet, dafs sie also auf einen Punkt am Himmel gerichtet sind, der 60° vom Zenithe abstehend 90° im Azimuth von der Sonne entfernt liegt. Damit das gleichzeitige Erscheinen beider schiefen Kreise erklärt werden könne, erinnert Brandes daran, dafs sich die Eisnadeln nie unter einem anderen Winkel, als dem von 60° an einander fügen, und daher auf beiden Seiten der durch die Sonne gehenden Vertikal-Ebene eine hinreichende Menge von spiegelnden Flächen, die gegen die Vertikal-Linie unter einem Winkel von 60° geneigt sind, vorhanden sein werde, um jene beiden schiefen Kreise veranlassen zu können.

Die Durchschnittsstellen des inneren Hofes mit dem Horizontal-Kreise, die durch eine gröfsere Menge vertikaler Prismen, und auch dadurch intensiver werden, dafs dort zwei Kreise ihr Licht vereinigen, müs-

sen die in dem Abstande des gröfseren Hofes beobachteten Nebensonnen zur Folge haben. Wie es zu erklären sei, dafs sich diese Nebensonnen bei einem höheren Stande der Gestirne aufserhalb des inneren Hofes zeigen, ist schon vorhin angegeben. Brandes berechnet den Abstand der Nebensonne von dem inneren Hofe auf beinahe 3°, wenn die Sonnenhöhe = 30°, und auf 8°, wenn die letztere = 45° ist. Zugleich geht hieraus hervor, dafs auf jeder Seite der Sonne zwei Nebensonnen in geringem Abstande von einander erscheinen können, von denen die eine die Durchschnittsstelle des inneren Hofes mit dem Horizontal-Kreise, und die andere die aufserhalb des Hofes liegende ist, wie ein solches Phänomen auf der nördlichen Seite der wahren Sonne den 20. Mai 1677. um 7 Uhr des Abends von Cassini beobachtet wurde. [1])

Die von der Sonne abgewandten, und im Horizontal-Kreise liegenden Schweife, welche von diesen Nebensonnen ausgehen, würden darin ihre Erklärung finden, dafs von den Prismen, die über den kleinsten Ablenkungswinkel hinaus neben der Sonne stehen, immer noch mehr Licht ins Auge kommt, als von den weiter entfernten, und dafs dieses Brechungslicht sich mit dem Reflexionslichte des Horizontal-Kreises vereinigt.

Die Gegensonnen sind entweder die Durchschnittsstellen des weifsen horizontalen und vertikalen Kreises, oder des dritten Hofes und des Horizontal-Kreises, da man die beiden Gegensonnen, die zur Seite der wirklichen stehen, in einer Entfernung von ungefähr 90° von der letzteren beobachtet hat.

1) *Mém. de l'acad. des sciences, depuis* 1666. *jusqu'à* 1699., tom. X, pag. 411.

Der schwierigste Theil der Theorie ist der die Berührungsbogen betreffende. Huygens erklärt sie aus der Brechung des Lichtes in horizontalen Cylindern, die von der, durch die Sonne gehenden Vertikal-Ebene weiter abstehen, und auf welche deshalb die Sonnenstralen in schiefer Richtung fallen. So wie nämlich bei niedrigem Stande der Gestirne durch vertikale Cylinder in dem Abstande des ersten Hofes eine Nebensonne entstehen mufs, welche dieselbe Höhe mit der wirklichen Sonne hat: eben so müsse auch durch horizontale Cylinder, auf welche die Stralen senkrecht fallen, in derselben Entfernung mit dem ersten Hofe ober- und unterhalb der wirklichen Sonne eine Nebensonne hervorgebracht werden. Lägen aber die Cylinder weiter von der Vertikal-Ebene entfernt, und fielen die Sonnenstralen schräger auf dieselben: so müfsten Nebensonnen in gröfserem Abstande von der wirklichen, und durch diese an einander hängende Reihe von Nebensonnen die Berührungsbogen entstehen. So sinnreich aber diese Erklärung auch sein mag, so dürfen wenigstens doch Eiscylinder nicht als die Ursache aller jener Phänomene angesehen werden.

Fraunhofer's Erklärung betrifft nur die Berührungsbogen, die an dem obersten und untersten Theile des ersten Hofes beobachtet sind. Um jede Stelle des Horizontal-Kreises entstünden, so wie um die wirkliche Sonne, Höfe mit einem Halbmesser von 22°. Indem alle diese Höfe sich durchschneiden, bilden sich durch die unendlich vielen und nahen Durchschnittspunkte, auf beiden Seiten des Horizontal-Kreises in einer Entfernung von 22°, glänzende Streifen, und diese sein es, von denen der erste Hof an seiner obersten und untersten Stelle berührt wird. Hiernach würden also beide Berührungsbogen mit dem Horizontal-Kreise

parallel sein müssen; dies stimmt aber weder mit älteren, noch neueren Beobachtungen überein.

Brandes sucht die Ursache jener und anderer Berührungsbogen in einer Brechung des Lichtes in horizontalen Prismen, welche gegen die durch die Sonne gehende Vertikal-Ebene schief gerichtet sind. Aber auch hier stimmt die aus der Rechnung gefolgerte Gestalt der Bogen mit der durch die Beobachtungen gegebenen nicht völlig überein. Dieser Theil der Theorie ist es also, der dann erst zuverlässiger wird begründet werden können, wenn man genauere Beobachtungen über die Gestalt der Berührungsbogen angestellt haben wird.

Pierre Bouguer.

Geb. 1698., gest. 1758.

Huygens, Franciscus Maria, Celsius und Buffon machen die ersten Versuche, die Lichtstärken verschiedener leuchtenden Körper mit einander zu vergleichen — Beschreibung der Instrumente, deren sich Bouguer bediente — Ein Licht verschwindet gegen ein anderes von derselben Intensität und Gröfse nicht eher, als bis es 64mal schwächer ist, als dieses — Bei einem Neigungswinkel von 15° werden von einem gläsernen Spiegel unter je 1000 Stralen 628, von einem metallenen aber 561 zurückgeworfen — Bei der Reflexion wird der Verlust des Lichtes desto geringer, je kleiner der Neigungswinkel ist — Bei dem Durchgange durch 16 Stücke gewöhnlichen Fensterglases, deren Dicke $9\frac{1}{2}$ Linien beträgt, wird das Licht im Verhältnisse von 247 : 1, und bei dem Durchgange durchs Meerwasser in einer Tiefe von 10 Fufs im Verhältnisse von $5 : 3\frac{1}{3}$ absorbirt — Bei einer Höhe der Sonne von 15 bis 20 Graden hat die Helligkeit des Himmels, in dem durch dies Gestirn gehenden Horizontal-Kreise, in einer Entfernung von 110 bis 120 Graden zu beiden Seiten desselben ihr Minimum; an der

Stelle aber, die der Sonne gegenüber liegt, ihr Maximum — Die Helligkeit des Vollmondlichtes in den Höhen von 19° 16′ und 66° 11′ verhält sich, wie 1681 : 2500 — Das Licht des Vollmondes ist 300000mal schwächer, als das der Sonne — Das Licht der Sonne ist um den Mittelpunkt herum intensiver, als nach dem Rande hin; bei dem Monde aber findet das Gegentheil Statt — Vom Quecksilber werden, wenn der Neigungswinkel 11°$\frac{1}{2}$ hat, unter 1000 Stralen 754, und wenn er 21° hat, unter 1000 Stralen 666 zurückgeworfen — Das Wasser reflektirt, wenn der Neigungswinkel sehr klein ist, $\frac{3}{4}$, und wenn er ein rechter ist, $\frac{1}{55}$ des direkten Lichtes — Vergleichende Zusammenstellung der vom Wasser und nicht foliirten Spiegelglase reflektirten Lichtmengen — Das erste, von der inneren Seite des Wassers reflektirte Bild kommt an Helligkeit beinahe dem vom Quecksilber reflektirten gleich — Auch beim Glase ist die innere Reflexion stärker, als die äufsere — Tabelle der Lichtmengen, die unter verschiedenen Neigungen vom mattgeschliffenen Silber, vom Gipse und weifsen Holländischen Papiere reflektirt werden — Tabelle für die Menge der Unebenheiten, die auf der Oberfläche dieser Körper bei verschiedenen Neigungen vorhanden sind — Die Stärke des Lichtes nimmt in geometrischer Progression mit der Tiefe der durchdrungenen Mittel ab; die Eigenschaften der logarithmischen Linie können daher zur Berechnung der Abnahme des Lichtes angewandt werden — Ist das Sonnenlicht bis zu einer Tiefe von 311 Fufs ins Meer gedrungen, so ist es nicht intensiver, als das Licht des Vollmondes — Völlig unwirksam wird das Sonnenlicht erst bei einer Tiefe von 679 Fufs — Die Luft ist 4600mal durchsichtiger, als Meerwasser — Tabelle für die Absorption des Lichtes durch die Atmosphäre.

Pierre Bouguer ist zu Croisic in der Bretagne geboren. Beweise seines hervorragenden Talentes für die mathematischen Wissenschaften gab er schon auf dem Jesuiten-Collegium in Vannes, wo er erzogen wurde. Nachdem er sich im Jahre 1727. durch die Abhandlung: „*Sur la meilleure manière, de mâter les vaisseaux*“; im Jahre 1729. durch seinen „*Essai d'Optique sur la gradation de la lumière*“, und im

Jahre 1731. durch die Schrift: „*Sur la méthode la plus avantageuse, d'observer en mer la variation du compas*" der Akademie von Paris in vortheilhafter Weise bekannt gemacht hatte, wurde er in eben diesem Jahre zum Mitgliede derselben erwählt. Als sie bald nachher beschlofs, eine Gradmessung der Erde in Peru, in der Nähe des Aequators, ausführen zu lassen, waren es Bouguer, Godin, de la Condamine und Jussieu der Jüngere, die zu der dorthin zu unternehmenden Reise bestimmt wurden, und dieselbe den 16. Mai 1735. von Rochelle aus antraten. Die lehrreichen Beobachtungen, die Bouguer während seiner zehnjährigen Abwesenheit von Europa anstellte, findet man in den, von der Akademie besorgten Memoiren jener Zeit.

Ein grofses Verdienst um die Optik hat sich Bouguer dadurch erworben, dafs er zuerst es versuchte, die Photometrie, deren Aufgabe es ist, die verschiedenen Abstufungen der Lichtstärke durch Zahlen zu vergleichen, zur Höhe einer Wissenschaft zu erheben. Die Grundzüge zur Ausführung dieses Planes findet man schon in dem genannten Büchelchen: „*Essai d'Optique sur la gradation de la lumière*". [1]) Seine Absicht, denselben Gegenstand in einem gröfseren Werke ausführlicher zu behandeln, wurde besonders durch die Reise nach Amerika so verzögert, dafs er das Manuscript erst kurz vor seinem Tode beendigte. Da indefs die Akademie von dem Vorhandensein desselben unterrichtet war, so trug sie es de la Caille'n, dem Freunde Bouguer's auf, die Herausgabe des Werkes zu besorgen. So freudig sich dieser aber auch dem Auftrage unterziehen wollte, so

1) Es enthält nur 164 Seiten in Duodez-Format.

stellten sich doch anfänglich mancherlei Schwierigkeiten entgegen. **Bouguer** war während der Ferien der Akademie, und **de la Caille's** Abwesenheit von Paris gestorben, und so hatte man die im Nachlasse vorgefundenen Papiere ordnungslos durch einander geworfen, ja zum Theil, wie auch die Instrumente, sogar fremden Händen übergeben. Es gelang daher **de la Caille'n** zwar nicht, das Manuscript von der eigenen Hand **Bouguer's** zurückzuerhalten; es fand sich jedoch eine Abschrift von fremder Hand vor, die aber in den Rechnungen sehr fehlerhaft war. **De la Caille** mufste daher erst die Abschrift durchgängig verbessern, ehe er sich in den Stand gesetzt sahe, das Werk unter dem Titel: „*Traité d'Optique*"[1]) im Jahre 1760. erscheinen zu lassen.

Die von Anderen, als Bouguer, vor dem Jahre 1760. angestellten photometrischen Versuche.

Huygens ersann zuerst eine Vorrichtung, um die Lichtstärke der Sonne mit der des Sirius vergleichen zu können.[2]) Sie bestand in einer 12 Fufs langen Röhre, deren oberes Ende durch eine dünne Platte verschlossen war, in welcher sich eine so kleine Oeffnung befand, dafs die durch dieselbe durchdringenden Stralen der Sonne und des Sirius einen gleich starken

1) Es ist auch im Jahre 1762. unter dem Titel: „*Optice de diversis luminis gradibus dimetiendis*". *Viennae*, 4., 195 Seiten, von dem Jesuiten **Joachim Richtenburg** ins Lateinische übertragen worden. Da ich in den Besitz der Französischen Original-Ausgabe nicht gelangen konnte, so habe ich die Citate nach dieser Uebersetzung genommen.

2) *Hugenii* „*Cosmotheoros, sive de terris coelestibus earumque ornatu conjecturae*". *Hagae-Comitum*, 1699. lib. II, pag. 136.

Eindruck auf sein Auge machten. Das dieser Oeffnung entsprechende Theilchen der Sonnenscheibe sollte dann als Maafs zur Vergleichung der Licht-Intensität beider Sterne dienen. Die Unzweckmäfsigkeit eines solchen Verfahrens geht indefs schon daraus hervor, dafs man den Sirius erst einige Zeit nach dem Untergange der Sonne beobachten kann, und nichtsdestoweniger den Eindruck seines Lichtes mit dem der Sonne vergleichen soll.

Nicht minder unzureichend waren die Versuche des Franciscus Maria, eines Kapuziner-Mönches in Paris, da er aus ihnen folgern zu müssen glaubte, dafs das Licht, wenn es von dem Glase wiederholentlich reflektirt, oder durch Gläser von gleicher Dicke durchgelassen wird, nach einer arithmetischen Progression abnehme. [1]) Denn dafs dies unwahr sei, wird sich hernach ergeben.

Eben so mangelhaft ist das Verfahren des bekannten Celsius, Professors der Astronomie in Stockholm. Er hatte drei kleine koncentrische Kreise auf weifses Papier gezeichnet, und ihnen eine Lichtflamme so nahe gebracht, dafs er sie durch eine kleine Oeffnung mit vollkommener Deutlichkeit erkennen konnte. Da er nun fand, dafs die Kerze 16mal, 81mal u. s. w. näher stehen, die Intensität ihres Lichtes also 256mal, 6561mal u. s. w. gröfser sein mufste, wenn die Entfernung seines Auges von den Kreisen die doppelte, dreifache u. s. w. war, und er dieselben mit der vorigen Deutlichkeit wiedersehen wollte: so glaubte er hieraus folgern zu müssen, dafs die Helligkeit einer Fläche bei ungeändertem Abstande der Lichtquelle sich umgekehrt, wie die achte Potenz der Entfernungen des Auges von

1) In den „*Nouvelles découvertes sur la lumière*". 1700.

der Fläche verhalte. Wäre aber dies Gesetz wahr, so würde für den, der an einem mäfsig hellen Orte ein kleines Objekt in einer Entfernung von 4 oder 5 Zollen mit vollkommener Deutlichkeit sieht, kein Kerzenlicht stark genug sein, damit er in einer Entfernung von 14 oder 15 Zollen dasselbe Objekt mit derselben Deutlichkeit sehe, welches doch bekanntlich der Erfahrung widerspricht.[1])

Zweckmäfsiger sind schon die Versuche Buffon's,[2]) den Verlust, welchen das Sonnenlicht durch Reflexionen erleidet, zu bestimmen. Er liefs dasselbe durch mehrere kleine Oeffnungen in ein verdunkeltes Zimmer fallen. Das Licht der einen Oeffnung ging ungeschwächt nach einer weifsen Ebene hin, das der anderen aber wurde erst auf gläserne Spiegel, und von diesen nach der weifsen Ebene neben das direkt einfallende geleitet. So schien es ihm, als ob ungefähr die Hälfte des Lichtes durch die Reflexion von einem gläsernen Spiegel verloren gehe. Denn er mufste das von zwei Spiegeln reflektirte Licht mit einander vereinigen, ehe er für sein Auge dieselbe Helligkeit erlangt hatte, in der sich das direkte Sonnenlicht zeigte.

Nicht minder sinnreich ist auch die Abänderung, die Buffon in diesen Versuch brachte. Nachdem er, vor einem Spiegel sitzend, sich eine Kerze so lange hatte nähern lassen, bis er die Buchstaben in einem Buche deutlich erkennen konnte, kehrte er dieses gegen den Spiegel, und liefs die Kerze so nahe bringen, dafs er die Buchstaben auch in dem, von dem Spiegel reflektirten Lichte deutlich erkannte. Da die erstere

1) *Hist. de l'acad. des sciences*, 1735., pag. 5.
2) *Mém. de l'acad. des sciences*, 1747., pag. 84.

Entfernung 24 Fuſs, die andere aber 15 Fuſs betragen hatte, so schloſs er hieraus, daſs die Stärke des direkten Lichtes zu der des reflektirten sich, wie 576:225 verhalte, daſs folglich, so wie er es auch bei dem Sonnenlichte gefunden hatte, ungefähr die Hälfte des Kerzenlichtes durch die Reflexion von einem Spiegel verloren gehe.

Dies waren die wenigen von Anderen angestellten Versuche, als **Bouguer** zuerst in seinem oben genannten Werke die Lösung vieler, in die Photometrie gehörigen Aufgaben durch eine geschickte Verbindung der Theorie mit der Erfahrung zu geben versuchte. Das Werk beginnt mit der

Beschreibung der Vorrichtungen, deren sich Bouguer bei seinen Versuchen bediente.

Die Intensität zweier Lichtflammen mit einander zu vergleichen, ersann **Bouguer** folgende Vorrichtung.[1]) Zwei schwarze Brettchen (Fig. 51.) *CE* und *CD* waren unter einem Winkel *ECD* so an einander gefügt, daſs die Stralen der Flammen *A* und *B* senkrecht auf zwei kleine runde Oeffnungen *O* und *O'*, die sich in denselben befanden, einfallen konnten. Beide waren von genau gleicher Gröſse, und hatten drei oder vier Linien im Durchmesser. Damit das Licht der Flammen sich nicht mit einander vermischen konnte, war in *C*, wo die beiden Brettchen an einander stiessen, ein drittes, nach den Flammen hin gerichtetes *CF* befestigt. Die beiden Oeffnungen wurden mit Papier, das in Oel getränkt war, oder auch mit dünnem trockenen Papiere überzogen, und die Entfernungen der Flammen *A* und *B* so lange geändert, bis sich

1) *Optice, ed. Richtenburg*, pag. 5.

in der Erleuchtung dieser Papiere kein Unterschied wahrnehmen liefs. Das Verhältnifs der Licht-Intensitäten beider Flammen konnte dann **Bouguer** aus dem geraden Verhältnisse des Quadrates der Entfernungen *AO* und *BO'* ableiten. Denn wird die Lichtstärke von *A* in der Entfernung *a* mit *x*, die von *B* in derselben Entfernung mit *y*, und die gleiche Lichtstärke beider in den Entfernungen *AO* und *BO'* mit *z* bezeichnet, so ist

$$x : z = AO^2 : a^2,$$
$$z : y = a^2 : BO'^2, \text{ und daher}$$
$$x : y = AO^2 : BO'^2.$$

Die Helligkeit des von einem Spiegel unter einem grofsen Neigungswinkel[1]) reflektirten und des direkten Lichtes mit einander zu vergleichen, bediente sich **Bouguer** der in Fig. 52. angedeuteten Vorrichtung. In *B* ist ein kleiner, vertikal stehender Spiegel, *D* und *E* sind zwei, gleich weifse, einander parallel zugekehrte Täfelchen, die in gleichen Entfernungen *DB* und *EB* von dem Spiegel und von *C*, wo die Linie *ED* von der erweiterten Ebene desselben geschnitten wird, aufgestellt sind, und in *O* ist das Auge, dem eine solche Lage gegeben werden mufs, dafs das vom Spiegel reflektirte Bild von *D*, und das im direkten Lichte gesehene Täfelchen *E* an einander grenzen, und eine zusammenhängende Ebene bilden. Würde das Licht durch die Reflexion nicht geschwächt, so müfste die Kerze *P* gerade in der Mitte *C* zwischen *D* und *E* stehen, wenn das Bild von *D* und das Täfelchen *E* gleich stark erleuchtet erscheinen sollen.

1) Unter dem Neigungswinkel, den **Richtenburg** *angulus incidentiae* nennt, verstehe ich hier, wie sonst immer, das Komplement des Einfallswinkels.

So aber fand dies **Bouguer** nicht, sondern er mufste die Kerze näher an *D* heranrücken, wenn er beide Täfelchen gleich hell erhalten wollte. Aus dem Verhältnisse der Quadrate der gemessenen Entfernungen *DP* und *EP* konnte er dann den Verlust, den das Kerzenlicht durch die Reflexion von dem Spiegel erlitten hatte, bestimmen.

Wollte **Bouguer** die Abnahme des Lichtes berechnen, wenn der Neigungswinkel der einfallenden Stralen mit der Ebene des Spiegels klein war: so pflegte er die Lampe dicht an den Spiegel, oder auch wohl auf denselben zu stellen, so dafs ihr Licht auf beide Täfelchen senkrecht fiel. Das Täfelchen (Fig. 52.) *E* wurde dann so weit von der Lampe abgerückt, bis es nicht heller erschien, als das an dasselbe dicht angrenzende Bild von *D*, und aus dem Verhältnisse der Quadrate der Entfernungen von der Lampe bis zu den beiden Täfelchen der Verlust, den das Licht durch die Reflexion erlitten hatte, berechnet.[1])

Dieselbe Methode befolgte **Bouguer** auch, um die Menge des bei dem Durchgange durch verschiedene durchsichtige Körper absorbirten Lichtes zu bestimmen. Auf den durchsichtigen Körper (Fig. 53.) *B* stellte er die Lampe *P*, vor denselben das eine Täfelchen *D*, und neben dasselbe das andere *E*, von welchem das Licht direkt ins Auge *O* kam, und das, indem der Winkel *DOE* möglichst klein blieb, so weit entfernt wurde, bis sich kein Unterschied in der Erleuchtung von *D* und *E* wahrnehmen liefs. Aus dem Verhältnisse der Quadrate der Entfernungen *PD* und *PE* der Täfelchen von der Lampe wurde dann die

1) *Optice*, pag. 8.

Abnahme des Lichtes bei seinem Durchgange durch den durchsichtigen Körper bestimmt.[1])

Um den Verlust des Lichtes bei der Reflexion zu berechnen, bediente sich Bouguer auch noch einer anderen Vorrichtung. In dem Fensterladen eines verdunkelten Zimmers befanden sich zwei Oeffnungen (Fig. 54.) *P* und *Q*, von quadratischer Gestalt, die höher und niedriger gestellt, und gröfser oder kleiner gemacht werden konnten. Wenn sie am gröfsten waren, so hatten ihre Seiten sieben oder acht Zoll. Durch die eine Oeffnung *Q* fiel das Licht, gewöhnlich von einer der Sonne gegenüberliegenden Gegend des Himmels, in gerader Richtung nach *S* auf den Schirm *GH*, durch die andere *P* aber wurde es erst auf einen Spiegel, oder ein mit einer Flüssigkeit erfülltes Gefäfs *B*, und von diesem auf den Schirm nach *R* geleitet. Nachdem dafür gesorgt war, dafs die Stralen unter möglichst gleichen Neigungswinkeln auf den Schirm fielen, und dafs die Linie *QS* nicht merklich von der Summe der beiden *PB* und *BR* verschieden war, wurde hierauf, um die Erleuchtung in *R* und *S* gleich stark zu erhalten, die Oeffnung *Q* kleiner gemacht, und der Verlust, den das Licht durch die Reflexion in *B* erlitten hatte, aus der Gröfse der beiden Oeffnungen berechnet, weil die kleinere einem kleineren Theile des Himmels entspricht, und deshalb weniger Licht empfängt.[2])

Dasselbe Princip befolgte Bouguer auch bei einer Vorrichtung, durch welche er die Lichtstärken zweier verschiedenen Stellen der Sonne und des Mon-

1) *Optice*, pag. 10.
2) *Ibid.*, pag. 13.

des mit einander verglich. Zwei inwendig geschwärzte Röhren (Fig. 55.) *OD* und *OB* waren an dem einen Ende mit den gleichen Objektiv-Gläsern *AB* und *CD* versehen, deren Brennweiten von 6 oder 7, auch wohl 10 oder 12 Fufs bis an das andere Ende in *O* reichten, wo sich zwei kleine Oeffnungen von 3 oder 4 Linien im Durchmesser befanden, die mit feinem weifsen Papiere geschlossen waren. Um dieses in beiden Oeffnungen gleich stark erleuchtet zu erhalten, wurde das eine der Objektive zum Theil verdeckt, und zwar nicht durch undurchsichtige Segmente, oder kreisrunde Ringe, sondern durch undurchsichtige Sektoren, damit nicht dadurch, dafs nur der Rand des Objektives bedeckt war, das die stärkere Mitte desselben durchdringende Licht mehr geschwächt würde. Das Verhältnifs der Licht-Intensitäten ergab sich dann aus dem der unbedeckten Theile der Objektive.

Um die Lichtstärken zweier verschiedenen Gegenden des Himmels oder auch zweier Sterne zu messen, ersann Bouguer auch noch eine andere Vorrichtung. Zwei inwendig geschwärzte Röhren (Fig. 56.) *OB* und *OC* waren durch ein Gewinde bei *O* so an einander gefügt, dafs sie sich unter einem beliebigen Winkel gegen einander neigen liefsen. Die eine *OD* war so eingerichtet, dafs sie ausgezogen, und länger gemacht werden konnte, als die andere. An dem Ende *O* hatte eine jede von ihnen, so wie das vorige Instrument, eine Oeffnung von 3 oder 4 Linien im Durchmesser, die mit feinem weifsen Papiere geschlossen war; die beiden anderen Enden *B* und *C* aber hatten kreisrunde Oeffnungen von einem Zoll im Durchmesser. Nachdem Bouguer die dem stärkeren Lichte zugekehrte Röhre *OD* so lange ausgezogen hatte, bis die Licht-

Intensitäten auf den Papieren bei *O* gleich waren, entnahm er dann das Verhältnifs derselben aus den Quadraten der Röhren-Längen. Mufste z. B. die Röhre *OC* bis auf 15 Fufs verlängert werden, während *OB* nur 12 Fufs hatte, damit die Lichtstärken bei *O* gleich waren: so verhielten sich die Durchmesser der gleichen Oeffnungen bei *B* und *C*, von *O* aus gesehen, wie 4:5, ihr Inhalt also, wie 16:25. In eben diesem Verhältnisse standen daher auch die in beide Röhren fallenden, und bis *O* sich fortpflanzenden Lichtmengen. Da aber dessenungeachtet die Erleuchtung in beiden Oeffnungen bei *O* gleich war, so mufste das in die längere Röhre dringende Licht im Verhältnisse 25:16 intensiver sein, als das in die kürzere fallende. [1])

Die Beschreibung einiger anderen Vorrichtungen, deren Bouguer sich sonst noch bediente, verbindet er mit der Angabe der Resultate, die er mittelst derselben erhielt.

In drei Bücher hat Bouguer sein Werk eingetheilt. Das erste handelt von dem Verluste, den das Licht bei der Reflexion von der Oberfläche fester Körper erleidet, und wenn es durch feste oder flüssige Mittel durchgelassen wird; das zweite von der Absorption des Lichtes, wenn es von der Oberfläche flüssiger, und von der inneren Seite fester oder flüssiger Mittel, oder von der Oberfläche unpolirter Körper reflektirt wird; das dritte von der Durchsichtigkeit und Undurchsichtigkeit der Körper. Diesen von Bouguer befolgten Plan will ich beibehalten.

1) *Optice*, pag. 17.

Von der Absorption des Lichtes, wenn es von festen Körpern reflektirt, oder wenn es durch feste oder flüssige Mittel durchgelassen wird.

Das erste, von Bouguer mitgetheilte Resultat seiner Untersuchungen betrifft die Frage, bis zu welchem Grade ein Licht geschwächt sein müsse, damit es gegen ein anderes von derselben Intensität und Gröſse unmerklich werde, zu deren Beantwortung er folgendes Verfahren einschlug. Er stellte zwei gleich groſse Wachslichtflammen, die einen halben Zoll breit, und anderthalb bis zwei Zoll lang waren, und die er bei allen Versuchen, wo er der Kerzenflammen bedurfte, von denselben Dimensionen nahm, vor einer weiſsen Ebene auf, verdeckte die eine derselben mit einem Brettchen so, daſs sein Schatten auf die Ebene fiel, und entfernte hierauf diese Flamme, das Brettchen immer vor ihr haltend, so lange, bis der von der anderen erleuchtete Schatten unmerklich wurde, und die Tafel überall eine gleiche Helligkeit zeigte, es also gleichgiltig war, ob das Licht der entfernteren Flamme auf sie fiel, oder nicht. Da er nun fand, daſs diese Flamme, damit dies geschah, 8mal weiter, als die andere, von der Tafel abstehen muſste: so folgerte er hieraus, daſs ein Licht gegen ein anderes von derselben Intensität und Gröſse nicht eher verschwinde, als bis es 64mal schwächer ist, als dieses. Ungeachtet Bouguer den Versuch mit Beobachtung aller Vorsichtsmaaſsregeln wiederholentlich, und auch so angestellt hatte, daſs er die beiden Flammen mit einander vertauschte: so giebt er doch zu, daſs die Vergleichungszahl nach Verschiedenheit der Augen verschie-

den ausfallen dürfte, dafs sie jedoch wahrscheinlich nicht unter 60, und über 80 sei. [1])

Bouguer erörtert hierauf die Frage, um wie viel das unter einem kleinen Neigungswinkel einfallende Licht durch die Reflexion von einem Metallspiegel mehr, als von einem Glasspiegel vermindert werde. Er stellte, um dies zu entscheiden, die Tafel (Fig. 52.) *D* in einer Entfernung von 42 Zollen so gegen einen gläsernen Spiegel *B*, der eine Linie dick war, und auf dem die Kerze stand, dafs die Stralen von *D* unter einem Neigungswinkel von 15° auf denselben fielen. Nachdem er hierauf dem Auge *O* eine solche Stellung gegeben hatte, dafs die Tafel *E*, die im direkten Lichte gesehen wurde, und auf welche, so wie auch auf *D*, die Stralen der Kerze senkrecht fielen, an das im Spiegel erblickte Bild von *D* angrenzte, mufste er dieselbe um 53 Zoll von der Kerze entfernen, damit die Erleuchtung beider Tafeln gleich stark erschien. Das auf den Glasspiegel fallende Licht verhielt sich demnach bei einem Neigungswinkel von 15° zu dem reflektirten, wie 2809 zu 1764, oder wie 1000 : 628, so dafs also von je 1000 Stralen 628 zurückgeworfen wurden. Als er denselben Versuch mit einem glänzend polirten Metallspiegel wiederholte, fand er, dafs die Tafel *D*, wenn *E* an der früheren Stelle in einer Entfernung von 53 Zollen von der Kerze blieb, nur 40 Zoll entfernt sein durfte, wenn die Erleuchtung beider gleich sein sollte, dafs also, bei einem Neigungswinkel von 15°, unter 1000 Stralen nur 561 von dem Metallspiegel reflektirt wurden. Zugleich aber überzeugte er sich auf diese Weise, dafs desto mehr Stralen zurück-

1) *Optice*, pag. 24.

geworfen wurden, je kleiner der Neigungswinkel war, indem z. B. der Glasspiegel bei einem Neigungswinkel von 3° unter 1000 Stralen schon 700 reflektirte. Bei dem Metallspiegel blieb jedoch unter allen Umständen die Absorption des Lichtes merklicher, als bei dem Glasspiegel.[1])

Mittelst einer anderen Vorrichtung, als der in Fig. 53. beschriebenen, untersuchte Bouguer den Verlust des Lichtes bei seinem Durchgange durch mehrere, an einander liegende plan-parallele Glasplatten. Durch zwei Oeffnungen in der Vorderwand eines im Inneren geschwärzten Kastens liefs er in einer dunkelen Nacht das Licht einer Fackel und das der Kerze auf die weifse Hinterwand desselben fallen, und die Entfernung der Flammen so lange ändern, bis beide Stellen der Hinterwand, die er durch eine dritte Oeffnung im Kasten betrachtete, gleich stark erleuchtet waren. Nachdem er hierauf zwischen die Fackel und den Kasten 16 Stücke gewöhnlichen Fensterglases, deren Dicke zusammen 9½ Linien betrug, gestellt hatte, liefs er der Wachskerze eine solche Entfernung von der Hinterwand des Kastens geben, dafs die Gleichheit der Erleuchtung auf derselben wieder hergestellt wurde. Da es sich nun zeigte, dafs hierzu die Kerze in eine 15½mal gröfsere Entfernung, als vorhin, gebracht werden mufste: so ergab sich hieraus, dafs das Licht der Fackel bei seinem Durchgange durch jene 16 Stücke Glas 240mal, oder wie andere Versuche zeigten, 247mal schwächer geworden war.

Zu einer anderen Zeit wiederholte er denselben Versuch mit 6 Stücken ebenen Spiegelglases, deren Dicke 11½ Linien betrug, und fand, dafs das Licht bei

1) *Optice*, pag. 27.

dem Durchgange durch dieselben ungefähr bis auf ein Drittel, oder genauer im Verhältnisse von 10:3 geschwächt wurde.

Beinahe dasselbe Resultat erhielt er auch, als er Tageslicht, das aus derselben Gegend des Himmels kam, durch die Oeffnungen (Fig. 54.) *P* und *Q* auf den Schirm *GH* fallen, und das Licht der einen Oeffnung durch jene 6 Stücke Spiegelglas hindurchgehen liefs. Denn er mufste diese letztere gegen die andere im Verhältnisse von 331:100 vergröfsern, wenn die Erleuchtung beider Stellen auf dem Schirme gleich stark werden sollte.[1])

Um die Absorption des Lichtes durchs Meerwasser zu prüfen, bediente sich Bouguer eines hölzernen Kastens, der 6 Zoll breit, und 115 Zoll lang war, und an den beiden Enden gläserne, auf der Länge senkrecht stehende Wände hatte. Durch diese Wände des leeren Kastens wurde in einer dunkelen Nacht das Licht einer Fackel geleitet, und auf einen dahinter gestellten Schirm geworfen, auf den zugleich das Licht der Wachskerze fiel, ohne dafs dieses durch die Glaswände durchgegangen war. Beide Flammen wurden so gegen den Schirm gestellt, dafs ihre Stralen denselben unter gleichen Neigungen trafen, und sich mit einander nicht vermischen konnten. Als beide Stellen auf dem Schirme gleich stark erleuchtet erschienen, wobei sich Bouguer aber nicht blofs auf sein Auge, sondern auch auf das Zeugnifs mehrerer Zuschauer verliefs, wurde die Entfernung der Wachskerze 9 Fufs gefunden. Nun liefs er den Kasten mit Meerwasser füllen, und die Kerze so weit entfernen, bis die Gleichheit des Lichtes an beiden Stellen auf dem Schirme

1) *Optice*, pag. 29.

wieder hergestellt war. Da sie hierzu auf 16 Fuſs entfernt werden muſste, und das Quadrat von 16 ungefähr dreimal so groſs, als das von 9 ist: so ergab sich hieraus, daſs durch das Meerwasser in einer Länge von 115 Zoll beinahe schon zwei Drittel des Lichtes absorbirt worden waren.

Dasselbe Resultat erhielt **Bouguer** auch bei einem anderen Verfahren, welches nicht noch ein zweites Licht, sondern bloſs das der Fackel erforderte. Es wurde zur Seite des Kastens ein konvexes Glas so aufgestellt, daſs die Stralen derselben Fackel sowohl durch dieses, als auch durch die gläsernen Wände des leeren Kastens nach dem Schirme hin durchgehen konnten, von welchem der Brennpunkt der Linse 8 Zoll entfernt war, als sich die Erleuchtung in beiden Stellen auf dem Schirme gleich stark zeigte. Nachdem aber Meerwasser in den Kasten gegossen war, muſste, damit Gleichheit der Erleuchtung Statt fand, der Brennpunkt 13 Zoll von dem Schirme abstehen, woraus sich denn ergab, daſs das Licht durch das Meerwasser im Verhältnisse von $13^2 : 8^2$ absorbirt worden war, welches von dem Verhältnisse 14:5 nicht bedeutend abweicht.

Obgleich **Bouguer** diese Versuche mit aller Sorgfalt angestellt hatte, so bemerkt er doch, daſs ihr Resultat mit anderen Erfahrungen, die er auf seiner Reise nach Peru gemacht hatte, nicht ganz übereinstimme. In der heiſsen Zone konnte er, wenn die Sonne hoch über dem Horizonte stand, und das Meer ruhig war, den Grund desselben in einer Tiefe von 100, ja selbst 120 Fuſs erkennen, sobald er nur mit weiſsem Sande bedeckt war, eine Beobachtung, die er freilich an den Küsten Europa's, wo das Meer der unregelmäſsigen Winde und der stärkeren Ebbe und Fluth wegen viel unruhiger ist, nie hatte machen kön-

nen. Er ist daher der Meinung, dafs die Intensität des Sonnenlichtes beim Durchgange durch klares Meerwasser in einer Tiefe von 10 Fufs nicht mehr, als in dem Verhältnisse von 5 : 3 oder 5 : 3½ vermindert werden dürfte. [1])

Das erste Buch enthält noch die Beobachtungen Bouguer's über die Helligkeit des Himmels in verschiedenen Gegenden desselben, über den Verlust, den das Licht durch verschiedene Tiefen der Atmosphäre erleidet, und über das Verhältnifs der Intensität des Sonnen- und Vollmondlichtes.

Bis auf eine Entfernung von drei oder vier Graden von der Sonne fand Bouguer den Himmel am stärksten erleuchtet, über diese Grenze hinaus aber nahm die Helligkeit merklich ab, und war z. B., wenn die Sonne eine Höhe von 25° hatte, in der Entfernung von 31 bis 32 Graden von derselben schon viermal schwächer, als in der Entfernung von 8 oder 9 Graden. Denn er mufste den längeren Tubus (Fig. 56.), wenn er ihn auf diese Himmelsgegend richtete, doppelt so lang, als den kürzeren, auf jene gerichteten nehmen, damit die Helligkeit in *O* in beiden gleich war.

Eben dies Instrument führte ihn auch zu der Entdeckung, dafs, wenn die Sonne eine Höhe von 15 bis 20 Graden hat, die Helligkeit des Himmels, in einem in derselben Höhe liegenden Horizontal-Kreise, zu beiden Seiten der Sonne bis auf eine Entfernung von 110 bis 120 Graden abnimmt, und an diesen Stellen ihr Minimum hat, dafs sie aber von hier aus wieder zunimmt, und an der Stelle, die der Sonne gegenüber liegt, ihr Maximum erreicht. [2])

1) *Optice*, pag. 29.
2) *Ibid.*, pag. 33.

Das Licht der Sonne ist zu stark, und das der Fixsterne und Planeten zu schwach, um den Unterschied in der Intensität desselben bei verschiedenen Höhen dieser Gestirne messen zu können; mit leichterer Mühe aber ist dies bei dem Monde möglich. Bouguer liefs das Licht des Vollmondes, als er eine Höhe von 19° 16′ hatte, durch die eine Oeffnung in den oben beschriebenen Kasten fallen, und durch die andere das Licht von vier Kerzen, die 50 Fufs abstehen mufsten, damit beide Stellen auf dem Hintergrunde des Kastens gleich stark erleuchtet waren. Als dasselbe geschah, nachdem der Mond eine Höhe von 66° 11′ erreicht hatte, mufsten die Kerzen bis auf 41 Fufs dem Kasten genähert werden. Es ergab sich demnach die Lichtstärke des Mondes (oder eines jeden anderen Sternes) in einer Höhe von 19° 16′ zu der in der Höhe von 66° 11′, wie 1681 : 2500. Dafs Bouguer gerade jene Höhen des Mondes nahm, geschah deshalb, weil die Sonne zur Zeit des Winter- und Sommer-Solstitiums in Croisic bis zu denselben sinkt und steigt.[1])

Durch ein eben so sinnreiches Verfahren suchte Bouguer es auch zu ermitteln, um wie vielmal stärker das Licht der Sonne, als das des Vollmondes sei. Um eine Vergleichung zwischen diesen beiden, so sehr verschiedenen Licht-Intensitäten möglich zu machen, liefs er die Stralen beider Gestirne durch ein Konkav-Glas, das nicht mehr, als eine Linie im Durchmesser hatte, in ein verdunkeltes Zimmer fallen, und hatte es nunmehr, bei der grofsen zerstreuenden Kraft eines solchen Glases, in seiner Gewalt, das Sonnenlicht bis zu jedem beliebigen Grade zu schwächen. Als er, bei einer Höhe der Sonne von 31 Graden, ihr Licht in

1) *Optice*, pag. 38.

einer Entfernung von 6 Fuſs hinter dem Konkav-Glase aufgefangen, und den Durchmesser der erleuchteten Stelle 108 Linien gefunden hatte, durfte die Wachskerze nur 16 Zoll entfernt werden, bis ihr Licht dem geschwächten Sonnenlichte gleich war. Nachdem aber der Vollmond eben jene Höhe erreicht hatte, und sein Licht so nahe hinter dem Glase aufgefangen war, daſs der Durchmesser nicht mehr, als 8 Linien enthielt, muſste nichtsdestoweniger dieselbe Wachskerze bis auf 50 Fuſs entfernt werden, ehe eine Gleichheit der Erleuchtung bemerkbar wurde. Da nun die Zahl 8 in 108 gerade $13\frac{1}{2}$mal enthalten ist, so wird eine gleiche Zerstreuung des Lichtes beider Gestirne erst dann eingetreten sein, wenn man bei dem Mondlichte die Wachskerze nicht in der Entfernung von 50 Fuſs, sondern in einer $13\frac{1}{2}$mal so groſsen, in der Entfernung von 675 Fuſs oder 8100 Zoll aufgestellt annimmt. Es verhält sich demnach die Intensität des Sonnen- zu der des Vollmondlichtes wie $8100^2 : 16^2 = 65610000 : 256$, d. h. es ist das Sonnenlicht ungefähr 256289mal stärker, als das des Vollmondes. Bouguer wiederholte diesen Versuch, beide Gestirne immer in derselben Höhe beobachtend, zu verschiedenen Zeiten, und erhielt, wie es sich bei Untersuchungen dieser Art von selbst versteht, Verhältniſszahlen, die von jener nicht unmerklich abwichen. Als er einen mittleren Werth aus allen diesen Resultaten genommen hatte, zeigte es sich, daſs man das Licht des Vollmondes ungefähr 300000mal schwächer, als das der Sonne zu setzen habe.

Hierdurch sieht nun auch Bouguer eine Erscheinung, die bis dahin sehr räthselhaft gewesen war, hinreichend erklärt. Man hatte groſse Brennspiegel gegen den Vollmond gehalten, und in ihren Brennraum Thermometer gebracht, ohne jedoch einen Unterschied

in dem Stande des Quecksilbers bemerken zu können. So hatte de la Hire auf einen Konkav-Spiegel, dessen Durchmesser 35 Zoll hatte, und der das Licht 306mal verdichtete, die Stralen des Vollmondes fallen lassen, nicht die geringste Aenderung aber in dem Stande des Thermometers wahrnehmen können. Dies konnte sich indefs, wenn das Licht der Sonne 300000mal intensiver, als das des Vollmondes ist, nicht anders verhalten. Denn es war bei dem de la Hireschen Spiegel das Licht des Vollmondes immer noch 1000mal schwächer, als das nicht verdichtete Sonnenlicht, und es würde selbst, wenn man Spiegel nähme, die das Mondlicht 1000mal kondensiren, kaum eine merkliche Aenderung in dem Stande des Quecksilbers eintreten können, weil dies verdichtete Licht alsdann immer noch 300mal schwächer, als das direkte Sonnenlicht sein würde.[1])

Zum Schlusse des ersten Buches bemerkt Bouguer noch, dafs er das Licht der Sonne um den Mittelpunkt herum intensiver, als nach dem Rande hin gefunden habe. Denn er mufste von der in 12 gleiche Theile getheilten Oeffnung des nach dem Mittelpunkte der Sonne gerichteten Tubus (Fig. 55.) *OB* $3\frac{1}{4}$ Theile bedecken, damit sich das Papier in *O* eben so stark erleuchtet zeigte, als in dem anderen Tubus, der nach einer, um $\frac{3}{4}$ des Sonnenhalbmessers von dem Mittelpunkte entfernten Stelle gerichtet war. Es ergab sich demnach das Verhältnifs der Licht-Intensitäten im Mittelpunkte der Sonne, und an der bezeichneten Stelle, wie $12 : 8\frac{3}{4}$, oder wie $48 : 35$. Bei dem Monde dagegen verhält es sich anders, und es verlor bei demsel-

1) *Optice*, pag. 41.

ben das Licht um so mehr an Intensität, je mehr die Stellen, von denen es kam, von dem Rande entfernt waren.[1])

Von der Absorption des Lichtes durch die Reflexion von flüssigen Körpern, von der inneren Seite fester und flüssiger Mittel, und von der Oberfläche unpolirter Körper.

Bouguer fand zwar, dafs die Lichtstralen vom Quecksilber unter den spiegelnden Körpern am wenigsten absorbirt werden; nichtsdestoweniger ergab sich, selbst bei dem kleinen Neigungswinkel von $11^{\circ}\frac{1}{2}$, ein nicht unbeträchtlicher Verlust bei dem reflektirten Lichte. Denn wurden die von der Luft zurückgeworfenen Sonnenstralen aus einer Höhe von $11^{\circ}\frac{1}{2}$ durch die Oeffnung (Fig. 54.) *Q* direkt, und durch die Oeffnung *P*, nachdem sie von dem Quecksilber in *B* reflektirt waren, auf den Schirm *GH* geleitet: so war das Licht in *S* und *R* erst dann gleich, wenn sich *P* und *Q* wie 6400 zu 4826 verhielten, so dafs also von dem Quecksilber bei dem angegebenen Neigungswinkel unter 1000 Stralen nur 754 zurückgeworfen wurden.

Auch hier zeigte sich der Verlust des Lichtes um so geringer, je kleiner der Neigungswinkel war. Denn betrug dieser 21°, so wurden unter 1000 Stralen nur noch 666, oder wie es sich aus einem anderen Versuche ergab, sogar nur 637 reflektirt.

Besonders war dieser Unterschied in der bei kleinen und grofsen Neigungswinkeln zurückgeworfenen Lichtmenge bei dem Wasser bedeutend. Denn während das reflektirte Licht bei einem sehr kleinen Nei-

1) *Optice*, pag. 43.

gungswinkel $\frac{3}{4}$ des direkten, und 0,097 bei einem Winkel von 25° betrug, machte es bei einem Winkel von 90° nur den 60sten oder 55sten Theil desselben aus, wodurch denn auch die starke Spiegelung, die ruhiges Wasser bei einem niedrigen Stande der Sonne zeigt, erklärlich wird.[1])

Da Wasser und gewöhnliches Spiegelglas die Körper sind, bei denen man den Verlust des Lichtes durch die Reflexion am häufigsten zu kennen wünscht, und Bouguer nicht zweifelte, dafs dieser Verlust ein bestimmtes, von irgend einer Funktion des Neigungswinkels abhängiges Gesetz befolgen werde: so stellte er besonders für diese beiden Körper viele Beobachtungen an, indem er das Licht immer unter anderen Neigungswinkeln einfallen liefs, und überzeugte sich endlich, dafs die für beide Körper erhaltenen Resultate am meisten mit der Rechnung übereinstimmten, wenn die reflektirte Lichtmenge durch die Formel $A + B \cos vers^3 \alpha + C \cos vers^6 \alpha$ ausgedrückt wurde, in welcher α den Neigungswinkel bedeutet, und A, B, C konstante Koefficienten sind, die aus drei beliebigen Beobachtungen bestimmt werden können. Für $\alpha = 90°$, und $\cos vers \alpha = 0$ verschwinden die beiden letzten Glieder, und es bleibt für das Wasser, wie so eben bemerkt wurde, $A = \frac{1}{55}$, wenn das einfallende Licht $= 1$ ist. Ferner hat man aus den beiden anderen Beobachtungen, bei denen der Neigungswinkel sehr klein, und 25° genommen war:

$$\frac{1}{55} + B + C = \frac{3}{4},$$

$$\frac{1}{55} + B \cos vers^3 25° + C \cos vers^6 25° = 0{,}097,$$

woraus sich $B = \frac{1}{3}$, und $C = \frac{2}{5}$ ergiebt. Für das nicht foliirte Spiegelglas aber fand Bouguer $A = \frac{1}{40}$, $B =$

1) *Optice*, pag. 60.

$\frac{7}{10}$, $C = \frac{1}{40}$, so dafs also, wenn das einfallende Licht $= 1$ gesetzt wird, das von der Oberfläche des Wassers reflektirte durch die Formel

$$\frac{1}{55} + \frac{1}{3} \cos vers^3 \alpha + \frac{2}{5} \cos vers^6 \alpha,$$

und das von dem nicht foliirten Glase zurückgeworfene durch die Formel

$$\frac{1}{40} + \frac{7}{10} \cos vers^3 \alpha + \frac{1}{40} \cos vers^6 \alpha$$

angegeben wird.

Nach diesen Formeln sind die Zahlen, die nicht auf unmittelbaren Beobachtungen beruhen, in den beiden folgenden Tabellen ergänzt: [1])

Neigungswinkel.	Anzahl der vom Wasser reflektirten Stralen, das direkte Licht = 1000 gesetzt.	Neigungswinkel.	Anzahl der vom nicht foliirten Spiegelglase reflektirten Stralen, das direkte Licht = 1000 gesetzt.
½°	721	2°½	584
1°	692	5°	543
1°½	669	7°½	474
2°	639	10°	412
2°½	614	12°½	356
5°	501	15°	299
7°½	409	20°	222
10°	333	25°	157
12°½	271	30°	112
15°	211	40°	57
17°½	178	50°	34
20°	145	60°	27
25°	97	70°	25
30°	65	80°	25
40°	34	90°	25
50°	22		
60°	19		
70°	18		
80°	18		
90°	18		

1) *Optice*, pag. 66.

Dafs die unter kleinen Neigungswinkeln vom Wasser reflektirte Lichtmenge sehr bedeutend ist, sieht man auch, wenn man auf Quecksilber Wasser mit einer Tiefe von einigen Zollen giefst, wodurch man gleichsam einen Plan-Spiegel erhält, bei welchem das Wasser die Stelle des Glases vertritt. Unter allen Bildern, die alsdann entstehen, sind zwar das erste, vom Wasser, und das zweite vom Quecksilber reflektirte die deutlichsten, die Intensität des Lichtes dieser beiden Bilder ist aber nach Verschiedenheit des Neigungswinkels, unter dem die Stralen einfallen, sehr verschieden. Ist dieser Winkel grofs, so wird vom Wasser wenig Licht zurückgeworfen, und es ist das durch dasselbe entstehende Bild kaum kenntlich. Je kleiner aber der Neigungswinkel wird, desto deutlicher wird das Bild vom Wasser, desto mehr nimmt also die reflektirte Lichtmenge zu, desto undeutlicher wird daher auch das Bild vom Quecksilber, weil um so weniger Stralen durch das Wasser hindurch dasselbe erreichen, bis endlich beide Bilder, wenn der Neigungswinkel ungefähr 10° hat, gleich deutlich erscheinen. Vom Wasser werden alsdann, wie die vorstehende Tabelle zeigt, von 1000 Stralen 333 zurückgeworfen, so dafs nur 667 bis zum Quecksilber gelangen, auf welches sie unter einem solchen Winkel fallen, dafs nicht mehr, als 500 reflektirt werden, von denen folglich an der inneren Seite des Wassers 167 abermals nach dem Quecksilber hin zurückgeworfen werden müssen, damit der Rest von 333 Stralen mit derselben Intensität, die das erste Bild von der Oberfläche des Wassers hat, ins Auge gelangen kann.[1])

1) *Optice*, pag. 69.

Die Reflexion von der inneren Seite des Wassers fand Bouguer beinahe eben so bedeutend, wie die vom Quecksilber. Er goſs Wasser in ein gläsernes Gefäſs von parallelepipedischer Gestalt, auf dessen Boden sich Quecksilber befand, und brachte eine weiſse, von einer Kerze erleuchtete Tafel in eine solche Lage gegen die eine Seite dieses Gefäſses, daſs sie, in der Mitte zwischen der Oberfläche des Quecksilbers und Wassers stehend, ihre Stralen auf die innere Seite des letzteren unter einem so kleinen Neigungswinkel warf, daſs eine möglichst vollkommene Reflexion derselben Statt fand. Sahe er dann, auf der entgegengesetzten Seite des Gefäſses stehend, nach den beiden von der inneren Seite des Wassers und vom Quecksilber entstandenen Bildern hin, so war kaum ein Unterschied in der Intensität ihres Lichtes bemerkbar. [1])

Die Gröſse der Reflexion von der inneren Seite des Glases zu messen, wählte Bouguer nach mehreren anderen, als unzweckmäſsig erfundenen Versuchen folgendes Verfahren. Er stellte zwei Stücke Spiegelglas, von denen jedes 5 Linien dick, und das eine doppelt so breit (8 Linien), als das andere (4 Linien) war, anstatt des Spiegels (Fig. 52.) *B* über einander, und die beiden Tafeln *D* und *E*, die er zu diesem Versuche sehr klein nahm, so, daſs ihr Licht unter einem Neigungswinkel von 75° auf die Gläser fiel. Nun aber verglich er nicht, wie früher, die in direktem Lichte gesehene Tafel *E* mit dem reflektirten von *D*, sondern vielmehr *E*, so wie diese Tafel durch das breitere Glas erschien, mit dem von dem schmaleren reflektirten Bilde der Tafel *D*. Denn es war durch diese

1) *Optice*, pag. 73.

Vorrichtung der Verlust, den das Licht an den äufseren Seiten beider Gläser, und auf dem Wege durch dieselben erlitt, gleich gemacht, und der Versuch daher so eingerichtet worden, als würde das von der inneren Seite des schmaleren Glases reflektirte Bild der Tafel *D* mit dem anderen direkt gesehenen Gegenstande *E* verglichen. Aus der Stellung, die der Kerze *P* gegeben werden mufste, ergab sich nach wiederholten Versuchen, dafs das Bild von *D* ungefähr 27 oder 28mal schwächer, als die durch das andere Glas gesehene Tafel war. Denn während die Kerze nur 16 Zoll von *D* abstand, mufste sie, zur Gleichheit der Helligkeit beider Bilder, 84 Zoll von *E* entfernt sein. Da nun von der äufseren Oberfläche eben dieses Glases, unter demselben Neigungswinkel von 75°, nur $\frac{1}{36}$ des einfallenden Lichtes zurückgeworfen wurde, so hatte sich also die innere Reflexion stärker, als die äufsere ergeben. Bei anderen Glasstücken zeigte sich aber der Unterschied nicht so bedeutend, wie hier, sondern es war die innere Reflexion zuweilen auch der äufseren gleich.[1])

Dafs der Verlust des Lichtes nicht derselbe ist, wenn es durch eine zusammenhängende durchsichtige Masse, und durch mehrere Stücke derselben, die eine gleiche Dicke mit ihr haben, geleitet wird: hiervon überzeugte sich Bouguer durch folgenden Versuch. Er betrachtete eine weifse Tafel durch eine zusammenhängende Glasmasse, und eine andere durch vier, an einander gestellte Stücke Glas derselben Art, deren Dicke zusammen genommen eben so grofs war, als die jener Masse. Beide Tafeln wurden durch eine zwi-

1) *Optice*, pag. 77.

schen ihnen stehende Kerze erleuchtet, und die Gläser ihnen so entgegengestellt, dafs die Stralen auf beide unter demselben Winkel von 75° einfielen. Ungeachtet diese Tafeln, die durch gleich dicke Glasmassen in gleichen Entfernungen gesehen wurden, gleich deutlich hätten erscheinen müssen: so war dies doch nicht der Fall, sondern es mufste die Kerze der, durch die vier getrennten Glasstücke betrachteten Tafel so genähert werden, dafs sich hieraus das Verhältnifs beider Lichtstärken, wie 360000:243049 d. i. wie 1000:675 ergab. Diese Verminderung des Lichtes konnte daher nur durch die äufseren und inneren Reflexionen dreier Glasstücke entstehen, da die des vierten sich gegen die der zusammenhängenden Glasmasse aufhoben.[1])

In eben diesem zweiten Buche handelt Bouguer auch von dem Verluste des Lichtes bei der Reflexion von unpolirten Körpern. Er sucht hier nicht allein die Lichtmengen, die von dergleichen Körpern in verschiedenen Neigungen reflektirt werden, sondern auch die Anzahl der kleinen Erhöhungen zu bestimmen, welche die Ursache der Rauhheit solcher Körper sein dürften.

Zur Erreichung dieses Zweckes wählte er das in Fig. 53. beschriebene Verfahren, indem er auf zwei gleich grofse, aus solchen Körpern geschnittene Platten *E* und *D* das Licht einer Kerze *P*, auf die eine *E* senkrecht, auf die andere *D* aber unter verschiedenen Neigungen fallen liefs, und nur die Platte *E*, während *D* immer in derselben Entfernung vom Auge *O* blieb, so lange rückte, bis beide in gleicher Helligkeit erschienen. Nur auf drei Körper dieser Art, auf matt-

1) *Optice*, pag. 79.

geschliffenes Silber, welches an Weifse dem besten Papiere gleichkam, auf weifsen Gips, und weifses Holländisches Papier beschränkte Bouguer seine Untersuchungen. Wurde die Silberplatte *D* 60 Zoll von der Kerze entfernt, und unter einem Winkel von 75° gegen dieselbe gestellt, so mufste die andere Platte *E* 67 Zoll von der Kerze abstehen, wenn beide dem Auge *O* gleich hell erscheinen sollten. Wurde der Platte *D* eine Neigung von 60° gegen das Licht gegeben, so mufste *E* 75 Zoll entfernt werden u. s. w. Nachdem die Abstände der Kerze bei denselben Neigungswinkeln auch für Gips und Holländisches Papier bestimmt waren, ergab sich folgende Tabelle, wenn die Helligkeit der Platten bei senkrecht auffallendem Lichte durch 1000 ausgedrückt wird: [1])

Neigungswinkel.	Stärke des zurückgeworfenen Lichtes von		
Grade.	mattgeschliffenem Silber.	weifsem Gipse.	Holländischem Papiere.
90	1000	1000	1000
75	802	762	971
60	640	640	743
45	455	529	507
30	323	352	332
15	209	194	203

Diese Tabelle zeigt also, dafs die genannten drei Körper nicht dieselbe Anzahl der kleinen Unebenheiten, welche die Ursache ihrer Rauhheit sind, nach allen Richtungen hin haben, sondern dafs es deren viel wenigere giebt, die in kleineren Neigungen das

1) *Optice*, pag. 82.

Licht reflektiren; eine Erscheinung, die **Bouguer** auch bei anderen Körpern mit rauhen Oberflächen wahrnahm.

Will man hieraus die Anzahl der Unebenheiten, mit denen jene Körper bedeckt sind, ableiten: so darf man es, wie **Bouguer** bemerkt, nicht unberücksichtigt lassen, dafs diese Erhöhungen um so heller erscheinen, je gröfser ihr Neigungswinkel gegen die Oberfläche jener Körper ist. Denn stellt (Fig. 57.) BD einen unendlich kleinen Theil der Oberfläche eines jener Körper vor, und BE die zugehörige Erhöhung, welche das unter rechten Winkeln einfallende Licht senkrecht reflektirt: so ist BE in demselben Verhältnisse heller, in welchem es kleiner, als BD ist, indem auf BD nicht mehrere Stralen, als auf BE fallen. Da nun $BE = BD \,.\, sin\, BDE$, so verhält sich also die Helligkeit von BE zu der von BD, wie $1 : sin\, BDE$. Wäre z. B. der Winkel $BDE = 30^0$, der Winkel EBD also $= 60^0$: so würde die Dichtigkeit der Stralen in BE doppelt so grofs, als die in BD sein. Man müfste folglich die Zahl 323 der in diesem Falle von dem mattgeschliffenen Silber zurückgeworfenen Stralen durch 2 dividiren, um die Zahl der zu jedem unendlich kleinen Theile der Oberfläche dieses Körpers zugehörigen Unebenheiten zu erhalten. Indem **Bouguer** daher die Zahlen der vorstehenden Tabelle mit dem Sinus der entsprechenden Neigungswinkel multiplicirt, erhält er die Zahl der Unebenheiten in folgender Weise: [1])

1) *Optice*, pag. 84.

Neigungen der kleinen Unebenheiten gegen die Hauptfläche des Körpers. Grade.	Vertheilung der kleinen Unebenheiten bei		
	dem mattgeschliffenen Silber.	dem weifsen Gipse.	dem Holländischen Papiere.
0	1000	1000	1000
15	777	736	937
30	554	554	545
45	333	374	358
60	161	176	166
75	53	50	52

Ungeachtet die hier gefundenen Resultate gewifs sehr unzuverlässig sind, so unterzieht sich Bouguer dennoch der undankbaren Mühe, nicht blofs die Zahlen dieser Tabelle, sondern auch die Menge der Unebenheiten, die auf der Sonne und dem Monde vorhanden sein sollen, graphisch darzustellen, indem er sich bei diesen Himmelskörpern auf die oben angeführte Erfahrung stützt, dafs die Helligkeit des Lichtes bei der Sonne nach dem Rande hin abnimmt, bei dem Monde aber wächst. Ich übergehe die Kurven, die er auf diese Weise erhält, weil hier der Rechnung alle sicheren Anhaltpunkte fehlen, diese auch nicht einmal in theoretischer Hinsicht ein besonderes Interesse gewährt.

Von der Durchsichtigkeit und Undurchsichtigkeit der Körper.

Wie schon im Anfange dieser Abhandlung bemerkt ist, hatte Franciscus Maria aus seinen Versuchen folgern zu können geglaubt, dafs die Helligkeit

des Lichtes, welches man durch homogene Mittel durchgehen läfst, in arithmetischer Progression mit der Tiefe dieser Mittel abnehme. Dies fand jedoch Bouguer nicht bestätigt. Denn durch zwei Stücke Glas von derselben Masse, durch welche er die Lichtstralen senkrecht hindurchgehen liefs, war ihre Intensität um die Hälfte schwächer geworden. Durch die Hinzufügung von noch zwei Stücken solchen Glases hätte also wieder die Hälfte des Lichtes absorbirt werden, es hätten diese vier Stücke undurchsichtig sein müssen; er konnte indefs wohl acht oder zehn Stücke an einander stellen, ohne dafs hierdurch das Licht völlig unwirksam gemacht wurde.

Erfahrung und Theorie führen vielmehr zu der Annahme, dafs die Lichtstärke in geometrischer Progression mit der Tiefe des durchdrungenen Mittels abnehme. Denn wird durch ein Glas z. B. die Hälfte des Lichtes absorbirt, so gelangt zu einem zweiten nur die andere Hälfte, von welcher durch dies Glas, wenn es dieselbe Masse und Dicke mit dem vorigen hat, wieder die Hälfte vernichtet wird, so dafs auf ein drittes Glas nur der vierte Theil der anfänglichen Lichtmenge fällt. Dies Glas absorbirt unter derselben Bedingung wieder die Hälfte des auffallenden Lichtes; es bleibt also, nach dem Durchgange der Stralen durch dies dritte Glas, nur der achte Theil ihrer anfänglichen Stärke übrig u. s. w. Es sind daher die Linien, die als Ordinaten eine solche Abnahme des Lichtes vorstellen, die der logarithmischen Linie, welche Bouguer deshalb auch die photometrische nennt, deren characteristische Eigenschaft die ist, dafs die Subtangenten für ihren ganzen Zug eine unveränderliche Gröfse haben. Denn nimmt man

auf einer geraden Linie (Fig. 58.) AE die gleichen Stücke $AB = BC = CD \ldots = \Delta x$, und errichtet in $A, B, C, D \ldots$ die rechtwinkeligen Ordinaten $AF = p$, $BH = q$, $CK = r$, $DM = s \ldots$, so ist, wenn diese Ordinaten in geometrischer Progression wachsen: $p:q = q:r = r:s \ldots$, und daher auch $p : q - p = q : r - q = r : s - r \ldots$ Zieht man also aus F die mit der Abscissen-Linie Parallele FG bis zur Ordinate BH, aus H die Parallele HI bis zur Ordinate $CK \ldots$: so sind die Verhältnisse $\frac{AF}{GH}, \frac{BH}{IK}, \frac{CK}{LM} \ldots$ unter einander gleich. Es ist daher, wenn man CK mit y, LM mit Δy bezeichnet, und durch die Punkte M und K eine gerade Linie MKT bis zur Abscissen-Linie AE zieht, der Werth von $CT = \frac{y \Delta x}{\Delta y}$ für die Punkte F, H, K, $M \ldots$ ein und derselbe, weil sowohl Δx, als auch $\frac{y}{\Delta y}$ für alle diese Punkte unverändert bleiben. Denkt man aber das konstante Δx unendlich klein, so dafs die durch eben diese Punkte gehende Kurve die logarithmische Linie ist, so wird $CT = \frac{y \partial x}{\partial y}$ die für jeden Punkt dieser Kurve unveränderliche Subtangente.

Wenn also die Abnahme des Lichtes, welches die Stücke (Fig. 59.) AD, $CF \ldots$ eines homogenen Mittels von den gleichen Höhen BD, $DF \ldots$ durchdringt, durch die zu diesen Höhen gehörigen Ordinaten KB, LD, $MF \ldots$ der photometrischen Linie KP vorgestellt werden kann: so wird, wenn KB die Menge des senkrecht auf die Fläche AB fallenden Lichtes bedeutet, die Menge des bis CD dringenden durch $LD \ldots$, des bis GH dringenden durch PH ausgedrückt werden. Wäre daher PH z. B. die Hälfte von KB, so

würde auch nur die Hälfte des einfallenden Lichtes aus dem Mittel *AH* austreten. [1])

Den Begriff der **Durchsichtigkeit** bestimmt **Bouguer** dahin, dafs er den Körper *n* mal durchsichtiger, als einen anderen nennt, der bei einer *n* mal gröfseren Tiefe das Licht, welches auf beide mit gleicher Stärke fällt, nicht mehr, als der andere absorbirt. Bei einer solchen Auffassung dieses Begriffes ist aber das Verhältnifs der Durchsichtigkeit zweier Mittel dem der Subtangenten ihrer photometrischen Linien gleich. Denn angenommen, es sein die Lichtstärken (Fig. 59. und 60.) *KB* und *kb* einander gleich, es dürfe aber das Licht in dem Mittel *av* nur bis *gh* dringen, um schon eben so schwach zu sein, wie es im Mittel *AH* dadurch, dafs es tiefer bis *GH* dringt, absorbirt wird: so ist, wenn man, wie in Fig. 58., $KB = kb = y$, $KB - PH = kb - ph = \Delta y$, $BH = \Delta X = n\Delta x$, und $bh = \Delta x$ setzt, die Subtangente *BT* des Punktes *K* der Kurve $KP = \frac{y\partial X}{\partial y} = \frac{ny\partial x}{\partial y}$, die Subtangente *bt* des Punktes *k* der Kurve *ks* aber $= \frac{y\partial x}{\partial y}$, und der Quotient $\frac{y\partial x}{\partial y}$ in beiden Ausdrücken gleich grofs. Beide Subtangenten verhalten sich daher, wie $n : 1$. Eben dies Verhältnifs ist aber auch das der Höhen *BH* und *bh*, oder nach dem oben aufgestellten Begriffe das der Durchsichtigkeit der Mittel *AH* und *av*. [2])

Undurchsichtig nennt **Bouguer** den Körper, bei dem die Ordinaten der photometrischen Linie gleich an der Oberfläche so klein werden, dafs das Licht,

1) *Optice*, pag. 118.
2) *Ibid.*, pag. 120.

nachdem es den Körper durchdrungen hat, einen Eindruck aufs Auge zu machen nicht im Stande ist.[1])

Nehmen wir also an, dafs die Abnahme des Lichtes, während die Dicke des durchsichtigen Mittels in arithmetischer Progression wächst, in geometrischer erfolge, so ist, wenn die anfängliche Lichtmenge zur Einheit genommen wird, und das Licht, welches nach Zurücklegung des Weges 1 übrig bleibt, mit $\frac{a}{b}$ bezeichnet wird, das nach Zurücklegung des Weges s noch vorhandene Licht:

$$\frac{1}{x} = \left\{\frac{a}{b}\right\}^s, \text{ woraus}$$

$$x = \left\{\frac{b}{a}\right\}^s,$$

und man sieht, wie man sich dieser Gleichungen zur Auflösung mannigfacher Aufgaben, für welche die Bedingungen, die gegeben sein müssen, früher gefunden sind, bedienen könne.

So haben wir oben (pag. 308.) gesehen, dafs von dem einfallenden Lichte, nachdem es 16 Stücke gewöhnlichen Fensterglases, deren gesammte Dicke $9\frac{1}{2}$ Linien beträgt, durchdrungen hat, nur noch $\frac{1}{247}$, folglich, wenn es durch eins von diesen Gläsern gegangen ist, $(\frac{1}{247})^{\frac{1}{16}}$ übrig bleibt. Wollte man nun wissen, wie stark der Verlust des Lichtes sei, wenn es durch 74 Stücke solchen Glases gedrungen ist, so würde die Gleichung:

$$x = 247^{\frac{74}{16}}$$

diese Frage beantworten. Man erhält aus dieser Gleichung $x = 116000$ Millionen, d. h. es würde das Licht 116000 Millionenmal schwächer werden, als es vor dem Eintritte in die Gläser war.[2])

1) *Optice*, pag. 122.
2) *Ibid.*, pag. 129.

Auch die umgekehrte Aufgabe läfst sich auf dieselbe Weise lösen. Denn wollte man z. B. durch Rechnung finden, bis zu welcher Tiefe das Sonnenlicht in das Meer dringen müsse, damit es nicht intensiver sei, als das Licht des Vollmondes: so haben wir oben (pag. 313. und pag. 310.) gefunden, dafs dieses von jenem 300000mal übertroffen, und dafs das Sonnenlicht, nachdem es bis zu einer Tiefe von 10 Fufs ins Meer gedrungen ist, ungefähr im Verhältnisse von 3:2 schwächer werde. Setzt man daher die Stärke des Sonnenlichtes vor dem Eintritte in das Wasser $=1$, in einer Tiefe von 10 Fufs folglich $=\frac{2}{3}$: so ergiebt sich die Tiefe s, in welcher sie nur noch $=\frac{1}{300000}$ ist, aus der Gleichung:

$$300000=(\tfrac{3}{2})^{\frac{s}{10}}$$

woraus $s=311$ Fufs.

Aus dem oben entwickelten Begriffe der Durchsichtigkeit, wonach derjenige Körper $n$mal durchsichtiger, als ein anderer zu nennen ist, der bei einer $n$mal gröfseren Tiefe das Licht eben so stark, als dieser letztere absorbirt, kann man auch das Zahlenverhältnifs der Durchsichtigkeit zweier Mittel ableiten. Wollte man z. B. wissen, wie vielmal die Luft, von der Dichtigkeit an der Oberfläche der Erde, durchsichtiger, als Meerwasser sei: so dürfte man nur berechnen, wie vielmal die Luft tiefer, als Meerwasser sein müsse, damit das Licht in einem und demselben Verhältnisse, z. B. in dem von 100:99 schwächer werde. In diesem Verhältnisse aber wird das Licht im Meerwasser bei einer Tiefe von 0,2479 Fufs, und in der Luft, wie aus der folgenden Tabelle hervorgeht, bei einer Tiefe von 189 Toisen oder 1134 Fufs absorbirt. Es ist folglich, da 1134 ungefähr 4600mal gröfser ist, als 0,2479, die Luft 4600mal durchsichtiger, als Meerwasser.

Durch 74 Stücke gewöhnlichen Glases von solcher Beschaffenheit, dafs je 16 derselben 9½ Linie dick sind, wird das Licht, wie wir so eben gefunden haben, 116000 Millionenmal schwächer. Als Bouguer 74 Platten solchen Glases, um dies Resultat zu prüfen, neben einander gestellt, und in eine Röhre eingeschlossen hatte, zeigte sich, wenn das Sonnenlicht aus einer Höhe von 50° senkrecht auf die Röhre fiel, ein kaum noch merklicher Lichtschimmer. Wurden aber noch zwei oder drei Platten hinzugefügt, so war durchaus kein Licht mehr erkennbar. Bouguer nimmt in runder Zahl 80 Stücke solchen Glases als hinreichend an, um alle Sonnenstralen zu absorbiren, und die vorliegenden Objekte durchaus dunkel zu machen. Durch 80 Stücke aber wird das Licht 900000 Millionenmal schwächer, wie sich dies aus der Gleichung:

$$x = 247^{\frac{80}{16}} = 247^5$$

ergiebt.

Hiernach liefse sich nun auch die Tiefe berechnen, die jeder andere durchsichtige Körper erhalten mufs, damit er die Fähigkeit, das Licht durchzulassen, verliere. Wollte man z. B. die Frage beantworten, bis zu welcher Tiefe s das Sonnenlicht ins Meer dringen müsse, damit dieses völlig dunkel werde, so folgt aus der Gleichung:

$$247^5 = (\tfrac{3}{2})^{\frac{s}{10}},$$

dafs $s = 679$ Fufs. [1])

Wenn schon die hier gefundenen Zahlen kaum eine der Wahrheit nahe kommende Zuverlässigkeit haben werden: so müssen die Resultate, die Bouguer gegen das Ende seines Werkes über die Absorption des Lichtes durch verschiedene Tiefen der Atmos-

1) *Optice*, pag. 134.

phäre findet, wie es sich zeigen wird, noch mehr von der Wahrheit abweichen. Sein Verfahren ist aber auch hier so sinnig, dafs ich die Mittheilung desselben nicht unterlassen will.

Es sei (Fig. 61.) *BAC* ein Theil der Erdoberfläche, deren Mittelpunkt in *E* liege, *EAD* folglich die Vertikale für einen Beobachter in *A*. Da die Dichtigkeit der Atmosphäre, wenn ihre Höhe in arithmetischer Progression wächst, in geometrischer abnimmt: so lasse man die Höhen *AF*, *AD*.... eine arithmetische, ihre zugehörigen Ordinaten *AG*, *FH*, *DK*.... aber eine geometrische Progression befolgen, und es wird die durch die Endpunkte dieser Ordinaten gehende Kurve *GHK* die logarithmische Linie der Atmosphäre, die Fläche *ADKG* also der allmählig dünner werdenden Luftmasse über dem Niveau *AG* des Meeres, und die Fläche *FDKH* der Luftmasse über *FH* proportional sein.

Um das Verhältnifs dieser Flächen zu bestimmen, denke man die Ordinate *fh* unendlich nahe an *FH*, aus *H* die Tangente *HT* bis zur Abscissen-Linie *AD*, aus *h* das Loth *hg* auf *FH* gezogen, und es ergiebt sich aus der Proportion $gH:gh=FH:FT$, dafs das Flächen-Element $Fh=FH.gh$ dem Produkte des unendlich kleinen Unterschiedes *gH* zwischen *FH* und *fh* in die konstante Subtangente *FT*, die ganze Fläche *ADKG* folglich der Differenz zwischen *AG* und *DK* in diese Subtangente, oder, wenn *D* an der Grenze der Atmosphäre liegt, *DK* also unendlich klein gegen *AG* ist, dem Produkte von *AG* in *FT* gleich sei. Die Flächen *ADKG* und *FDKH* verhalten sich folglich, so lange noch *DK* auch gegen *FH* als unendlich klein betrachtet werden kann, wie *AG* zu *FH*.

Um ferner den Werth der konstanten Subtangente *FT* der Kurve *GHK* zu erhalten, erwäge man, dafs der Modulus eines logarithmischen Systems nichts anderes sei, als die Subtangente der zu diesem Systeme gehörigen logarithmischen Linie. Da nun der Modulus des Briggischen Systems = 0,4342945 ...., so ist also eben diese Zahl auch der Werth der Subtangente der logarithmischen Linie, durch welche dies System dargestellt werden kann. Die Subtangenten (Fig. 59. und 60.) *BT* und *bt* zweier logarithmischen Linien *KP* und *ks* verhalten sich aber, wie vorhin bewiesen wurde, wie die zu den gleichen Ordinaten *KB* und *kb*, *PH* und *ph* gehörigen Stücke *BH* und *bh* der Abscissen-Linien. Man wird daher nur die Abnahme der Dichtigkeit der Atmosphäre für eine gemessene Höhe zu bestimmen haben, um die Subtangente der logarithmischen Linie der Atmosphäre berechnen zu können. Nun hatte de la Hire gefunden, dafs das Quecksilber des Barometers, welches an der Küste des Meeres 338 Linien hoch stand, auf dem Gipfel des Mont-Clairet, der eine Höhe von 257 Toisen hat, nur noch 316½ Linien hoch war. Es verhalten sich folglich, da diese Barometer-Stände dem Drucke der Luft an der Küste des Meeres und auf dem Gipfel des Berges proportional sind, die Ordinaten (Fig. 61.) *AG* und *FH*, wie 338 zu 316½, wenn $AF = 257$ Toisen. Stellt daher (Fig. 59. und 60.) *KP* die logarithmische Linie der Atmosphäre, und *ks* die des Briggischen Systemes vor, und ist $KB = kb = 338$, $PH = ph = 316\frac{1}{2}$, so hat man, da $bh : BH = bt : BT$:

$$\text{Log. Brigg. } \frac{338}{316\frac{1}{2}} : 257 = 0{,}4342945 : BT,$$

und die Subtangente *BT* der logarithmischen Linie der Atmosphäre = 3911 Toisen.

Hiernach läfst sich endlich die Höhe einer Luftsäule bestimmen, die überall die Dichtigkeit der Atmosphäre an der Erdoberfläche hat, und gleichen Druck mit jener ausübt. Denn behält die Ordinate (Fig. 61.) *AG* immer denselben Werth, so ist der Inhalt der Fläche *ANMG*, welche einer Luftsäule über *AG* von gleichbleibender Dichtigkeit proportional ist, $= AG \,.\, GM$. Der Inhalt der Fläche *ADKG*, welche einer allmählig dünner werdenden Luftsäule über *AG* proportional ist, wird aber durch das Produkt *AG.FT* ausgedrückt. Es ist daher, wenn beide Flächen gleich gesetzt werden, die Höhe der dichteren Luft $= FT = 3911$ Toisen.[1])

Befindet sich ein Gestirn im Zenithe, so müssen seine Stralen, ehe sie zu unserem Auge gelangen, eine Luftmasse, welcher die Fläche (Fig. 61.) *ADKG* proportional ist, durchdringen. Ist aber die Höhe des Gestirnes kleiner, und erscheint es uns z. B. nach der Richtung *AD'*, so wird der Weg, den sein Licht in der Luft zurückzulegen hat, gröfser. Denn trägt man die Ordinaten der Kurve *GHK* winkelrecht auf *AD'*, und zwar in Punkten auf, die eben so weit vom Mittelpunkte *E* der Erde entfernt liegen, als die entspre-

1) *Optice*, pag. 164. Bouguer sagt, dafs seine eigenen Barometer-Beobachtungen ihm diese Höhe gröfser, nämlich 4197 Toisen gegeben hätten, und in der That ist die Höhe von 3911 Toisen zu klein. Denn denkt man die allmählig dünner werdende und die dichtere Luftsäule in kommunicirenden Röhren, und statt der ersteren eine, denselben Druck ausübende Quecksilber-Säule mit einer mittleren Höhe von 336 Par. Lin. $= 0,4888$ Toisen: so verhalten sich die Höhen H und h des Quecksilbers und der dichteren Luft umgekehrt, wie die Dichtigkeiten D und d beider, und es ist daher $h = \frac{H \,.\, D}{d}$. Da nun, wenn die Dichtigkeit des Wassers zur Einheit genommen wird, $D = 13,5972$, und $d = \frac{1}{779,37}$: so ergiebt sich hieraus $h = 4120$ Toisen.



chenden Punkte in AD, so daſs die Kurve $G'H'K'$ entsteht, und $AD'K'G'$ die Ebene ist, durch welche die Luftmasse vorgestellt wird, die von den Stralen des Gestirnes durchdrungen werden muſs: so leuchtet ein, daſs, wenn auch F' eben so weit, wie F von E entfernt, und daher die Ordinate $F'H'$ der Ordinate FH gleich ist, die zwischen den gleichen Ordinaten AG und FH, AG' und $F'H'$ gelegenen Stücke AF und AF' der Abscissen-Linien dennoch verschieden sein werden, weil $EA+AF'$ gröſser ist, als EF' oder $EF=EA+AF$, und daher auch AF' gröſser, als AF sein muſs.

Da also die Tiefe der Luft, durch welche das Licht eines Sternes dringt, um so gröſser wird, je kleiner seine Höhe ist: so bleibt, um die Absorption des Lichtes durch die Atmosphäre berechnen zu können, nur noch die Ermittelung des Verhältnisses übrig, in welchem die Tiefe der Luft zur Höhe des Sternes steht.

Hierzu sei der Halbmesser der Erde (Fig. 61.) $EA=a$, und die Höhe $D'AL$ des Sternes $=\psi$; ferner sei aus E das Loth ER auf die Verlängerung von $D'A$ gefällt, die für dieselbe Höhe unveränderliche Linie $AR=a\sin\psi=b$, und $EF=EF'=a+x$; endlich werde die Ordinate $AG=AG'$, welche der Dichtigkeit der Atmosphäre an der Oberfläche der Erde proportional ist, durch 1 ausgedrückt, und zur Bezeichnung der übrigen Ordinaten $F'H'$, $D'K'$.... der Ausdruck $1-z$ gewählt, so daſs z. B. für die Ordinate $F'H'$, wenn $G'Q$ parallel mit AF', und $F'Q$ parallel mit AG' gezogen ist, $H'Q=z$. Man hat alsdann:

$$RF'^2=(a+x)^2-ER^2,$$
$$ER^2=a^2-b^2,$$



$$RF' = (b^2 + 2ax + x^2)^{\frac{1}{2}},$$

$$\partial RF' = \frac{(a+x)\,\partial x}{(b^2 + 2ax + x^2)^{\frac{1}{2}}} = F'f.$$

Es ist daher das mit der Höhe $F'f'$ beschriebene Rechteck

$$F'h' = F'H' . F'f = \frac{(1-z)\,(a+x)\,\partial x}{(b^2 + 2ax + x^2)^{\frac{1}{2}}},$$

welches zugleich das Element der Fläche $AD'K'G'$ ist, so daſs

$$AD'K'G' = \int \frac{(1-z)\,(a+x)\,\partial x}{(b^2 + 2ax + x^2)^{\frac{1}{2}}}.$$

Bezeichnet man nun die oben berechnete Subtangente der für die vertikale Abscissen-Linie AD konstruirten Kurve GHK mit $k = \frac{y\partial x}{\partial y}$, so hat man ferner, weil $y = FH = F'H' = 1 - z$:

$$\partial y = -\,\partial z,$$

und, da das negative Zeichen nur andeutet, daſs y abnimmt, wenn z wächst:

$$\partial x = \frac{k\partial y}{y} = \frac{k\partial z}{1-z} = k\partial z + kz\partial z + kz^2\partial z \ldots., \text{ folglich}$$

$$x = kz + \frac{kz^2}{2} + \frac{kz^3}{3} \ldots., \text{ und}$$

$$RF'^2 = b^2 + 2ax + x^2 = b^2 + 2akz + (ak + k^2)z^2 \ldots.,$$

$$\frac{1}{(b^2 + 2ax + x^2)^{\frac{1}{2}}} = (b^2 + 2ax + x^2)^{-\frac{1}{2}}$$

$$= \frac{1}{b} - \frac{akz}{b^3} + (3a^2k^2 - ab^2k - b^2k^2)\frac{z^2}{2b^5} \ldots.,$$

$$\frac{(1-z)\,(a+x)\,\partial x}{(b^2 + 2ax + x^2)^{\frac{1}{2}}} = \frac{ak\partial z}{b} - \frac{(a^2 - b^2)\,k^2 z\partial z}{b^3}$$

$$+ (3a^2k - a^2b^2 - 3ab^2k + b^4)\,\frac{k^2z^2\partial z}{2b^5} \ldots,$$

also

$$\int \frac{(1-z)(a+x)\partial x}{(b^2+2ax+x^2)^{\frac{3}{2}}} = AD'K'G' = \frac{akz}{b} - \frac{(a^2-b^2)k^2z^2}{2b^3}$$
$$+ (a^3k - \tfrac{1}{3}a^2b^2 - ab^2k + \tfrac{1}{3}b^4)\frac{k^2z^3}{2b^5} \ldots,$$

eine Reihe, die für jede Höhe der Sterne nur die Berücksichtigung weniger Glieder erfordert, weil b sehr grofs gegen k ist.

Diese Reihe ist es, nach welcher **Bouguer** die zweite Kolumne der folgenden Tabelle mit Ausnahme des Falles, wenn der Stern im Horizonte steht, berechnet hat. Es ist dann nämlich, weil $b = a \sin \psi = 0$, jedes Glied jener Reihe unendlich grofs. Setzt man indefs für diesen Fall

$$AD'K'G' = \int \frac{(1-z)(a+x)\,\partial x}{(2ax+x^2)^{\frac{3}{2}}},$$

und bestimmt man das Integral in der eben angegebenen Weise: so erhält man auch eine für die Höhe $\psi = 0$ anwendbare Reihe. Für jede andere Höhe aber ist in jener Reihe statt a der Halbmesser der Erde, $b = a \sin \psi$, $k = 3911$ Toisen, und $z = 1$ zu nehmen, weil für die ganze Tiefe der Atmosphäre die Ordinate $D'K'$ unendlich klein gegen $AG' = 1$ wird.

Die dritte Kolumne der folgenden Tabelle ist aus der zweiten berechnet. Denn da sich die Absorption des Lichtes in einer Höhe von 66° 11′ zu der in einer Höhe von 19° 16′, wie 2500 : 1681 verhält (pag. 312.), und sich aus der zweiten Kolumne ergiebt, dafs die Lichtstralen im ersteren Falle einen um 7469 Toisen kürzeren Weg, als im anderen zurückzulegen haben: so folgt z. B. für senkrechte Stralen, welche eine Tiefe von 3911 Toisen der dichteren Luft durchdringen müssen, wenn man ihre Stärke vor dem Eintritte in die Luft durch 1 ausdrückt, aus der Gleichung:

$$\frac{1}{x} = \left\{\frac{1681}{2500}\right\}^{\frac{3911}{7469}},$$

dafs Log. $\frac{1}{x} = 0{,}9097486 - 1 = $ Log. $0{,}8123$. Man erhält demnach folgende Tabelle: [1])

Scheinbare Höhe der Gestirne, ohne Rücksicht auf die Stralenbrechung. Grade.	Reduktion der Tiefen der allmählig dünner werdenden Atmosphäre auf Tiefen der dichteren. Toisen.	Stärke des Lichtes der Sterne nach dem Durchgange durch die Atmosphäre, ihre Lichtstärke vor dem Eintritte in dieselbe = 10000 gesetzt.
90	3911	8123
80	3971	8098
70	4162	8016
66° 11′	4275	7968
65	4315	7951
60	4516	7866
55	4776	7759
50	5104	7624
45	5530	7454
40	6086	7237
35	6813	6963
30	7784	6613
25	9191	6136
20	11341	5474
19° 16′	11744	5358
19	11890	5316
18	12515	5143
17	13220	4954
16	14000	4753
15	14880	4535
14	15880	4301
13	17012	4050
12	18344	3773
11	19908	3472
10	21745	3149
9	23975	2797
8	26672	2423
7	29996	2031
6	34300	1616
5	39893	1201
4	47480	802
3	58182	454
2	74429	192
1	100930	47
0	138823	6

1) *Optice*, pag. 174.

Auf einem hiervon verschiedenen Wege hat Lambert dieselbe Aufgabe gelöst. Die von ihm gefundenen Resultate weichen aber beträchtlich von den hier berechneten ab, wie sich dies nicht anders verhalten kann, da Bouguer die Höhe der dichteren Luft zu klein genommen, die Abnahme der Lichtstärke auch nur für zwei Höhen der Sterne beobachtet hat.

Dies ist im Wesentlichen der Inhalt eines Werkes, dessen hohe Bedeutsamkeit für die Optik, so unzuverlässig auch die in demselben enthaltenen Zahlenverhältnisse sein mögen, schon deshalb nicht in Abrede gestellt werden kann, weil es das erste ist, in welchem wir eins der schwierigsten Gebiete der Optik auf wissenschaftliche Principien begründet finden.

Johann Heinrich Lambert.

Geb. 1728., gest. 1777.

Die Principien der Lambertschen Theorie — Die Stärke der Erleuchtung einer kleinen Ebene hängt nicht von der wirklichen, sondern nur von der sichtbaren Gestalt und Gröſse des leuchtenden Körpers ab — Die Erleuchtungskraft der im Zenithe einer kleinen horizontalen Ebene stehenden Sonne ist $\frac{1}{46165}$, wenn die Erleuchtungskraft der eben so stark, wie die im Zenithe stehende Sonne, leuchtenden halben Himmelskugel zur Einheit genommen wird — Ist der leuchtende Körper sphärisch, so ist die Erleuchtung einer kleinen, im Zenithe desselben liegenden Ebene dem Quadrate ihrer Entfernung von dem Mittelpunkte der Kugel umgekehrt proportional, so groſs diese auch immer sein mag — Die Erleuchtungskraft der Sonne in einer beliebigen Höhe ist dem Produkte ihrer Erleuchtungskraft, wenn sie im Zenithe steht, mit dem Sinus ihrer Höhe proportional — Bestimmung der Lichtmengen, die von einem ebenen Glase unter jedem Neigungswinkel reflektirt und durchgelassen wer-

den — Bestimmung der Lichtmengen, die von einem gläsernen foliirten Spiegel unter jedem Neigungswinkel reflektirt werden — Die vom Auge empfundene Helligkeit leuchtender Körper ist von ihrer Entfernung unabhängig — Formel zur Berechnung der Absorption des Lichtes durch die Atmosphäre — Tabelle für die mittlere Helligkeit der Mondsphasen in einer Entfernung von 10 zu 10 Graden von der Sonne — Die von Lambert, Ritchie und Anderen angegebenen Photometer.

Lambert, geboren zu Mühlhausen im Elsafs, war in seiner Jugend von allen äufseren Mitteln so sehr entblöfst, dafs er selbst schon als Knabe sich seinen Unterhalt erwerben mufste. Seiner schönen Handschrift verdankte er es, dafs er in seinem funfzehnten Jahre als Schreiber bei dem Besitzer eines seinem Geburtsorte benachbarten Eisenwerkes, und zwei Jahre später bei Iselin in Basel beschäftigt wurde, der das ausgezeichnete Talent des Jünglinges bald erkannte, und ihn dem Präsidenten v. Salis in Chur zum Lehrer seiner Söhne empfahl. Hier benutzte Lambert die reichhaltige Bibliothek, in deren Besitz sich der Präsident v. Salis befand, mit so anhaltendem Fleifse, dafs er schon in seinem ein und dreifsigsten Jahre seine „Photometrie", ein Werk, in dem er sich als einen der scharfsinnigsten Mathematiker seiner Zeit erwies, herausgeben konnte. Nachdem im Jahre 1761. seine „Kosmologischen Briefe über die Einrichtung des Weltbaues", und 1764. sein „Neues Organon" erschienen waren, wurde er in demselben Jahre von Friedrich dem Grofsen zum Oberbaurath und Mitgliede der Akademie von Berlin ernannt, in welcher Stellung er bis zu seinem Tode blieb.

Die Principien der Lambertschen Photometrie, und ihre Anwendung auf einige leichtere photometrische Aufgaben.

Die Principien, auf welche **Lambert** seine „Photometrie“ [1]) gründet, sind folgende:

1. Das Maafs der **Helligkeit** oder des **Glanzes** eines leuchtenden Punktes ist die Stärke der Erleuchtung (*illuminatio*), die er einem Flächen-Elemente in einer beliebigen Lage und Entfernung mittheilt, wenn die Stärke der Erleuchtung, die dasselbe Element in derselben Lage und Entfernung durch einen anderen leuchtenden Punkt erhält, zur Einheit genommen wird.

Insofern ein Gegenstand einem anderen Lichtstralen mitzutheilen im Stande ist, legt man jenem eine **Erleuchtungskraft** (*vis illuminans*) bei, der die Erleuchtung proportional ist.

Von der **absoluten**, von der Empfindung im Auge unabhängigen Helligkeit eines Lichtes kann die gesehene, vom Auge empfundene sehr verschieden sein. Unser Urtheil über die erstere wird aber durch die letztere bestimmt. Die **gesehene Helligkeit** (*claritas visa*) oder der **gesehene Glanz** eines Gegenstandes, die Stärke der Erleuchtung nämlich, die er einer jeden Stelle der Netzhaut mittheilt, ist um so gröfser, je gröfser die von ihm ins Auge dringende Lichtmenge, und je kleiner sein Bild auf der Netzhaut ist. **Man erhält daher die gesehene Helligkeit eines Gegenstandes, wenn man die Lichtmenge durch die Gröfse des Bildes auf der Netzhaut dividirt.**

1) *Photometria sive de mensura et gradibus luminis, colorum et umbrae. Aug. Vind.*, 1760.



Die sichtbare Gröfse (*magnitudo apparens*) eines Gegenstandes ist der Theil einer um das Auge als den Mittelpunkt beschriebenen Kugelfläche, welcher durch eine aus demselben ausgehende, und um den Umfang des Gegenstandes herumgeführte Linie begrenzt wird. Die sichtbare Gröfse einer auf der Gesichtslinie schiefen Fläche ist folglich der, in gleicher Entfernung mit dieser genommene, senkrechte Durchschnitt einer Pyramide oder eines Kegels, dessen Basis die Fläche, und dessen Scheitel das Auge ist. Die sichtbare Gröfse eines Gegenstandes verhält sich also gerade, wie der Flächeninhalt jenes Durchschnittes, und umgekehrt, wie das Quadrat seiner Entfernung vom Auge.[1])

2. Unter sonst gleichen Umständen ist die Erleuchtung, die ein kleiner Gegenstand von einem leuchtenden Punkte erhält, dem Quadrate seiner Entfernung von diesem Punkte umgekehrt proportional.

3. Die Stärke der Erleuchtung eines kleinen, den Lichtstralen in normaler Lage entgegengestellten Gegenstandes steht in geradem Verhältnisse mit dem Inhalte der leuchtenden Fläche. Ist dieser $= F$, der absolute Glanz eines jeden seiner Elemente $= I$, und D die Entfernung zwischen dem leuchtenden und erleuchteten Gegenstande: so ist also die Stärke der Erleuchtung dem Ausdrucke $\frac{F \cdot I}{D^2}$ proportional.

4. Ist die erleuchtete Fläche in schiefer Lage dem leuchtenden Körper entgegengestellt, so ist die Stärke der schiefen Erleuch-

1) *Photometria*, pag. 1. sqq.

tung dem Produkte der normalen in den Sinus des Neigungswinkels der Stralen gegen die erleuchtete Fläche proportional. Denn fallen dieselben parallelen Stralen (Fig. 57.) *CB*, *FD*.... auf das Flächen-Element *BE* unter rechten Winkeln, und auf das Element *BD* unter dem Neigungswinkel $BDF = \varphi$: so sind sie in *BE* in demselben Verhältnisse dichter, als in *BD*, in welchem *BE* kleiner ist, als *BD*. Die Dichtigkeiten der Stralen in *BD* und *BE* verhalten sich also umgekehrt, wie diese Linien, d. h. wie $\sin\varphi : 1$, woraus der Satz folgt. Die schiefe Erleuchtung ist daher dem Ausdrucke $\frac{F.I.\sin\varphi}{D^2}$ proportional.

5. Da die Erfahrung lehrt, dafs leuchtende Flächen bei jeder Neigung gegen die Gesichtslinie überall gleich glänzend erscheinen: so kann die von jedem Punkte einer solchen Fläche unter jeder Neigung gegen die Gesichtslinie ausströmende Lichtmenge nicht gleich grofs sein, sie mufs vielmehr mit dem Winkel, unter welchem jeder Stral gegen die Oberfläche des leuchtenden Körpers geneigt ist, den Lambert den Ausflufswinkel (*angulus emissionis*) nennt, abnehmen. Denn wäre dies nicht der Fall, so müfste das leuchtende Element (Fig. 57.) *BD* um so glänzender werden, je schiefer es gegen die Gesichtslinie *FD* liegt, je kleiner also der Ausflufswinkel ist. Weil nämlich (nach 1.) die sichtbare Gröfse *BE* von *BD* gleichfalls dem Sinus dieses Winkels proportional ist, und die Dichtigkeit der Stralen um so gröfser wird, je kleiner die Flächen-Elemente dem Auge erscheinen: so müfste ihr Glanz sich umgekehrt, wie der Sinus des Ausflufswinkels verhalten, und um so gröfser werden, je kleiner dieser Winkel wird. Da dies jedoch der Erfahrung nicht gemäfs ist, indem z. B. eine gl

hende Eisenstange, in schiefer Lage gegen das Auge gehalten, an den weiter entfernten Stellen nicht glänzender, als an den näheren erscheint: so folgert Lambert hieraus, dafs die von leuchtenden Flächen ausströmende Lichtmenge nicht in allen Richtungen dieselbe, dafs sie vielmehr von einer Funktion des Ausflufswinkels abhängig sei, die mit diesem zugleich abnimmt.

Dafs diese Funktion des Ausflufswinkels keine andere, als sein Sinus sein werde, hält Lambert aus folgendem Grunde für wahrscheinlich. Ist (Fig. 62.) AB die leuchtende Fläche, von der ein jedes Element nach allen Seiten hin Licht verbreitet: so werde die Kraft, welche es in der Richtung CF fortsendet, durch die in derselben Richtung genommene Linie CD vorgestellt. Wird sie in die normale ED, und die parallele EC zerlegt, so trägt diese letztere zur Fortsendung des Lichtes nichts bei, auf das daher die Kraft ED allein einwirkt. Da sich aber ED, wie der Sinus des Ausflufswinkels verhält, so nimmt auch jene Kraft in eben diesem Verhältnisse ab. Ist also λ der Ausflufswinkel für das leuchtende Flächen-Element F, und I sein Glanz: so ist die von demselben ausströmende Lichtmenge dem Ausdrucke $F.I.\sin\lambda$ proportional. [1])

Dies sind die Principien, die den Rechnungen Lambert's zum Grunde liegen, und aus denen er zunächst einige leichtere Sätze ableitet.

1) Mit diesem Lambertschen Principe scheint freilich die Behauptung Bouguer's (pag. 314.), dafs der Glanz der Sonne in der Mitte gröfser, der des Mondes aber geringer sei, als an den Rändern, nicht vereinbar zu sein. Aber abgesehen davon, dafs Bouguer sich bei diesen schwierigen Beobachtungen leicht getäuscht haben kann: so lassen sich auch, falls sich dies nicht so verhalten sollte, manche örtliche Ursachen jenes veränderten Glanzes denken.

1. Eine kleine Ebene (Fig. 63.) *P* wird von den beiden Elementen, dem normalen *BE*, und dem schiefen *BD* gleich stark erleuchtet, wenn beide in derselben Entfernung *PB* zwischen denselben Gesichtslinien *PB* und *PD* liegen, und einen gleich starken Glanz haben.

Ist x die von *BD*, und y die von *BE* ausgehende Erleuchtung, so verhält sich nach dem dritten Principe:

$$x:y = BD:BE,$$

und nach dem fünften:

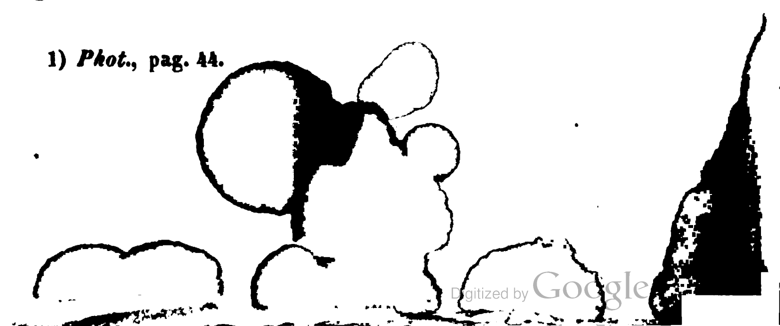
$$x:y = \sin BDP : \sin BEP = BE:BD,$$

woraus sich der Satz ergiebt, da die Neigungswinkel in *P* deshalb unberücksichtigt bleiben können, weil sie für beide leuchtende Ebenen gleich grofs sind.[1])

2. Die Stärke der Erleuchtung einer Ebene (Fig. 64.) *P* im Mittelpunkte der Himmelskugel hängt nicht von der wirklichen, sondern nur von der sichtbaren Gestalt und Gröfse des leuchtenden Körpers ab. Man kann daher statt desselben, seine Oberfläche sei eben, konkav oder konvex, einen Theil der Himmelskugel nehmen, der zwischen denselben Gesichtslinien liegt, und einen gleichen Glanz mit ihm hat.

Die auf den Gesichtslinien schiefe Oberfläche des leuchtenden Körpers sei *mn*, *bde* ein Element derselben, und *deg* ein durch *de* gehender senkrechter Durchschnitt der Pyramide *bdeP*: so ist nach dem vorigen Satze die Erleuchtung, die *P* von *bde* erhält, gleich der von *deg* ausgehenden. Zieht man nun aus *P* durch die Punkte *b*, *d* und *e* Linien, bis sie die Himmelskugel in *B*, *D* und *E* treffen: so ist nach dem dritten Prin-

1) *Phot.*, pag. 44.



cipe die von dem Elemente *BDE* = *F* ausgehende Erleuchtung $= \frac{F.I}{EP^2}$, und die von dem Elemente *deg* = *f* ausströmende $= \frac{f.I}{eP^2}$. Da sich aber $F : EP^2 = f : eP^2$ verhält, die Quotienten $\frac{F}{EP^2}$ und $\frac{f}{eP^2}$ also gleich sind: so ist auch die durch *BDE* bewirkte Erleuchtung der kleinen Ebene *P* eben so grofs, wie die von *deg*, oder dem gegen die Gesichtslinie beliebig geneigten Elemente *bde* ausgehende. Da nun dieselbe Schlufsfolge auch für alle übrigen Elemente giltig bleibt, so ist offenbar, dafs man statt der leuchtenden Fläche *mn* von ganz beliebiger Gestalt jedesmal ein Stück *MN* der Himmelskugel nehmen könne, das zwischen denselben Gesichtslinien *PmM* und *PnN* liegt, und gleichen Glanz mit *mn* hat.

Eine kleine Ebene wird also durch die Sonne, oder einen jeden anderen Stern nicht stärker erleuchtet, als durch einen Kreis, der dieselbe sichtbare Gröfse und denselben Glanz mit dem Sterne hat; durch den Sektor (Fig. 64.) *ZAG* nicht stärker, als durch das Parallelogramm *AGVT* von unendlich grofser Höhe u. s. w. [1])

3. Die Erleuchtung, die eine im Mittelpunkte der Himmelskugel befindliche horizontale Ebene (Fig. 65.) *P* von dem leuchtenden Segmente *SZM* erhält, dessen Mittelpunkt im Zenithe liegt, ist dem Quadrate des Sinus des sichtbaren Segment-Halbmessers *SPZ* = x proportional.

Es sei *MmsS* ein Element des Segmentes, und *Qq* seine auf *PZ* = 1 genommene Höhe: so ist der Inhalt

1) *Phot.*, pag. 46.



dieses Elementes $= 2\pi . Qq = 2\pi . \partial \, sinvers \, x = 2\pi \sin x \partial x$. Hat es nun überall denselben Glanz, so ist in Folge der obigen Principien die von ihm ausgehende Erleuchtung der Ebene P von seinem Inhalte, und dem Sinus MR des Neigungswinkels MPD der Stralen abhängig. Sie ist daher dem Ausdrucke $2\pi \sin x \cos x \partial x$, und die von dem ganzen Segmente ausgehende Erleuchtung dem Integrale η dieses Ausdruckes proportional. Es ist aber

$$\eta = 2\pi \int \sin x \cos x \partial x = 2\pi \int \sin x . \partial \sin x$$
$$= \pi \sin^2 x + Const.,$$

woraus sich der Satz ergiebt, da $Const. = 0$ für $x = 0$. Die Einheit für dieses Integral ist die Erleuchtungskraft der ganzen halben Himmelskugel mit einem eben so grofsen Glanze, wie ihn das Segment hat. [1])

Nimmt man statt des Segmentes die Sonne, so ist die Erleuchtung einer sie berührenden Ebene eben so grofs, wie sie es auf der Erde sein würde, wenn die halbe Himmelskugel den Glanz der Sonne hätte. Für die halbe Himmelskugel aber ist $x = 90^0$, und daher die Erleuchtung der Ebene bei unmittelbarer Berührung mit der Sonne, und in der Entfernung der Erde, wie $\pi : \pi \sin^2 16' = 1 : \frac{1}{46165}$, d. h. es wird eine horizontale, den Stralen der im Zenithe stehenden Sonne ausgesetzte Ebene auf der Erde, wenn man die Absorption des Lichtes durch die Atmosphäre nicht berücksichtigt, 46165mal schwächer erleuchtet, als sie in der Nähe der Sonne erleuchtet werden würde.

4. Ist der leuchtende Körper sphärisch, und im Zenithe einer kleinen Ebene (Fig. 66.)

1) *Phot.*, pag. 54.



P befindlich, so ist ihre Erleuchtung dem Quadrate ihrer Entfernung CP von dem Mittelpunkte C der Kugel umgekehrt proportional.

Es sei der Halbmesser CB der Sonne oder eines anderen Sternes senkrecht auf CP, und aus P die Tangente PD gezogen: so ist der Winkel CPD der in P sichtbare Halbmesser der Kugel, welcher im vorigen Satze mit x bezeichnet wurde. Da nun die Erleuchtung in P, AD mag konkav oder konvex sein, dem Quadrate des Sinus dieses Winkels proportional ist, der $\sin x = \frac{CD}{CP}$ sich aber umgekehrt, wie die Entfernung CP verhält: so ist auch die Erleuchtung in P dem Quadrate dieser Entfernung umgekehrt proportional. [1])

Dieses Theorem, in welchem es auf die Gröſse des Halbmessers CD der leuchtenden Kugel gar nicht ankommt, ist zuerst von Lambert bewiesen worden. Thümmig [2]) und selbst Euler [3]) hatten sich noch, indem sie eben diesen Satz bei ihren, die Erleuchtung unseres Planeten-Systemes betreffenden Rechnungen zum Grunde legten, mit der Voraussetzung beholfen, daſs CD als verschwindend klein gegen CP, die Sonnenkugel also als ein bloſser Punkt angesehen werden könne.

5. **Die Erleuchtungskraft eines von zwei Vertikal-Kreisen (Fig. 64.) ZA und ZG, und dem Bogen AG des Horizontes eingeschlossenen Sektors ZAG ist der Hälfte des Bogens AG proportional.**

1) *Phot.*, pag. 56.

2) *Dissertatio de propagatione luminis per systema planetarum. Halae*, 1721.

3) *Mém. de l'acad. de Berlin.* 1750., pag. 280.



Wird das Azimuth des Punktes A mit φ bezeichnet, und ist x wieder die Zenith-Distanz irgend eines, zwischen zwei unendlich nahe an einander liegenden Horizontal- und Vertikal-Kreisen befindlichen Elementes des Sektors: so ist der Inhalt eines solchen Elementes $= \partial\varphi . \partial\, sinvers\, x = sin\, x \partial x \partial\varphi$, also seine Erleuchtungskraft dem Ausdrucke $sin\, x\, cos\, x\, \partial x \partial\varphi$, und die des ganzen Sektors dem Werthe:

$$\eta = \int\int sin\, x\, cos\, x \partial x \partial\varphi = \int\int \partial\varphi\, sin\, x . \partial\, sin\, x$$

proportional. Integrirt man zuerst nach φ, und nimmt das Integral von $\varphi = 0$ bis $\varphi = AG = a$, so erhält man:

$$\eta = a \int sin\, x . \partial\, sin\, x,$$

und, wenn man nach x integrirt:

$$\eta = \frac{a}{2} sin^2 x + Const.,$$

und das Integral von $x = 0$ bis $x = 90^0$ nimmt, die dem ganzen Sektor ZAG zugehörige Erleuchtungskraft dem Ausdrucke:

$$\eta = \frac{a}{2},$$

proportional, da $Const. = 0$ für $x = 0$. Die Einheit desselben ist die im dritten Satze bestimmte.

6. **Die Erleuchtungskraft einer kreisförmigen, in beliebiger Höhe am Himmelsgewölbe stehenden Scheibe ist das Produkt ihrer Erleuchtungskraft, wenn ihr Mittelpunkt im Zenithe liegt, mit dem Cosinus der Zenith-Distanz ihres Mittelpunktes, oder dem Sinus seiner Höhe.**[1])

1) *Phot.*, pag. 62.





Es sei diese kreisförmige leuchtende Scheibe (Fig. 64.) KLQ, ihr Mittelpunkt S, in Z das Zenith, und XY der Horizont. Man ziehe die Vertikal-Kreise ZSA, ZKG, in verschwindend kleiner Entfernung von KLQ den koncentrischen Kreis klq, durch beide Kreise, gleichfalls in unendlich kleiner Entfernung, die Bogen SkK, SlL, fälle aus K das Loth KH auf den Vertikal-Kreis ZSA, und setze $ZS = a$, des Elementes kL Zenith-Distanz $ZK = z$, den Winkel $ZSK = y$, und den Bogen $SK = x$.

Die erleuchtende Kraft des Elementes kL hängt, wie im dritten und fünften Theoreme, von seinem Inhalte, und seiner Neigung gegen den Horizont ab. Es ist aber, da $kK = \partial x$, und $KL = \sin x\, \partial y$, weil sich in einem sphärischen Dreiecke die Sinus der Bogen, wie die Sinus der Gegenwinkel verhalten, der Inhalt des Elementes

$$kL = \sin x\, \partial x \partial y.$$

Da ferner in dem sphärischen Dreiecke ZSK:

$$\cos z = \cos a \cos x + \sin a \sin x \cos y = \sin KG,$$

so ist die Erleuchtungskraft des Elementes kL dem Ausdrucke:

$$\partial\partial\eta = \cos a \sin x \cos x\, \partial x\, \partial y + \sin a \sin^2 x \cos y\, \partial x\, \partial y,$$

und die der ganzen Scheibe dem Werthe:

$$\eta = \int\int \cos a \sin x\, \partial y . \partial \sin x + \sin a \sin^2 x \partial x . \partial \sin y + Const.$$

proportional. Integrirt man zuerst nach y, und dehnt das Integral von $y = 0$ bis $y = 360^0 = 2\pi$ aus, so hat man:

$$\eta = 2\pi \cos a \int \sin x . \partial \sin x,$$

und, wenn man nach x integrirt, und das Integral von $x = 0$ bis $x = SK = r$ nimmt:

$$\eta = \pi \sin^2 r \cos a,$$

woraus sich das Theorem ergiebt, da nach dem dritten Satze die Erleuchtungskraft der Scheibe, wenn ihr Mittelpunkt im Zenithe liegt, dem Ausdrucke $\pi \sin^2 r$ proportional, $\cos a = \sin SA$, und die $Const. = 0$ für $x = 0$ ist.

7. Befindet sich der Mittelpunkt der leuchtenden Scheibe im Horizonte, so ist ihre Erleuchtungskraft dem Ausdrucke $r - \frac{\sin 2r}{2}$ proportional.

Da in diesem Falle $a = 90^0$, so hat man, wenn das Integral nach y nur von $y = 0$ bis $y = 90^0 = \frac{\pi}{2}$ genommen wird:

$$\eta = \int \sin^2 x \partial x = \int (1 - \cos 2x) \frac{\partial x}{2} = \frac{x}{2} - \frac{\sin 2x}{4},$$

welcher Werth der Erleuchtungskraft eines Quadranten der Scheibe entspricht. Da aber über dem Horizonte zwei Quadranten stehen, so wird der Werth

$$\eta = r - \frac{\sin 2r}{2}$$

die Erleuchtungskraft der halben Scheibe im Horizonte ausdrücken.[1])

In eben dieser Weise berechnet Lambert auch noch die Erleuchtungskraft sphärischer Dreiecke und anderer Figuren.

1) *Phot.*, pag. 64.

Von dem Verhältnisse der vom Glase unter jedem Neigungswinkel reflektirten und durchgelassenen Lichtmengen.

Läfst man durch eine kleine Oeffnung (Fig. 67.) *A* in ein dunkeles Zimmer einen Sonnenstral *AB* fallen, und fängt ihn unter einem schiefen Neigungswinkel *ABK* mit einem hinreichend dicken Glase auf: so nimmt er in demselben den Weg *BCDEF*...., indem er an allen diesen Stellen theils reflektirt, theils durchgelassen wird, wie dies daraus offenbar ist, dafs man an eben diesen Stellen auf einem weifsen Papiere Sonnenbilder erhält, von denen das zweite, nach den beiden Brechungen in *B* und *C* entstandene das hellste ist, die übrigen aber immer dunkeler werden, so dafs das zehnte oder zwölfte Bild kaum noch erkennbar ist. Wird aber die Lichtöffnung zu grofs, oder das Glas zu dünn genommen, so vereinigen sich alle Bilder zu einem einzigen, dessen Enden ein wenig dunkeler sind, als die Mitte.

Um die Summe der in allen diesen Punkten reflektirten und durchgelassenen Lichtmengen zu erhalten, befolgt Lambert eine Methode, die in Untersuchungen dieser Art wohl immer die allein anwendbare bleiben wird. Er berechnet nämlich diese Lichtmengen unter der Voraussetzung eines vollkommen durchsichtigen, d. h. eines solchen Glases, durch welches zwar die Stralen regelmäfsig reflektirt und gebrochen werden, durchaus kein Licht aber durch Zerstreuung verloren geht. Er vergleicht hierauf diese Lichtmengen mit den durch die Erfahrung gegebenen, und erhält so die von der Absorption herrührende Differenz.

Wird also, unter der Voraussetzung eines voll-

kommen durchsichtigen Glases, das in B einfallende Licht $= 1$ im Verhältnisse von $1:q$ reflektirt, und im Verhältnisse von $1:n$ gebrochen, so ist $q+n=1$. Wird eben so das innerhalb des Glases in C einfallende Licht im Verhältnisse von $1:p$ reflektirt, und im Verhältnisse von $1:m$ gebrochen, so ist auch $p+m=1$. Man hat daher, wenn p und m dieselbe Bedeutung auch für die Punkte D, E, F.... haben:

Die reflektirte Lichtmenge in $B=q$,
- durchgelassene - - $C=nm$,
- aufwärts gebrochene - - $D=nmp$,
- durchgelassene - - $E=nmp^2$,

. . . .

folglich die Summe der in allen Punkten B, D, F... aufwärts reflektirten und gebrochenen Lichtmengen:

$$(1)\ M=q+nmp+nmp^3\ldots=q+\frac{nmp}{1-p^2}$$
$$=q+\frac{(1-q)(1-p)p}{1-p^2}=\frac{q+p}{1+p},$$

und die Summe des in den Punkten C, E... abwärts gebrochenen und durchgelassenen Lichtes:

$$(2)\ N=nm+nmp^2+nmp^4\ldots=\frac{nm}{1-p^2}=\frac{1-q}{1+p},\text{ und}$$
$$M+N=1,$$

wie dies auch sein mufs, da durch das Glas durchaus kein Licht zerstreut werden sollte.

Es sein ferner (Fig. 68.) BP beliebig viele, über einander liegende Gläser, auf welche das Licht AB unter einem schiefen Winkel einfällt: so ist aus dem so eben Gesagten einleuchtend, dafs es nach den verschiedenen Reflexionen und Brechungen, die es in allen diesen Gläsern erleidet, sich endlich so theilen müsse, dafs der eine Theil ϱ in der Richtung der Li-

nie *BR* nach oben hin fortgeht, ohne wieder ins Glas zurückzukehren, und der andere ν in der Richtung der Linie *CF* nach unten hin.

Eine ähnliche Vertheilung des Lichtes wird aber auch Statt finden, wenn man unter jenen Gläsern noch beliebig viele andere *FK* annimmt. Setzt man den von diesen aufwärts reflektirten und gebrochenen Theil des Lichtes $=\pi$, den abwärts gebrochenen $=\mu$: so ist also, da von dem in *F* einfallenden Lichte ν nur der Theil π nach oben gelangt, das in *E* einfallende $=\nu\pi$, und weil hiervon nur der Theil ν durch die oberen Gläser geht, die Menge des in der Richtung *DS* fortgehenden $=\nu^2\pi$. Von dem in *E* einfallenden Lichte $\nu\pi$ wird ferner der Theil ϱ reflektirt. Es gelangt also nach *H* die Lichtmenge $\nu\pi\varrho$, und da hiervon nur der Theil π reflektirt wird, zum zweiten Male nach den oberen Gläsern die Lichtmenge $\nu\pi^2\varrho$, von welcher indeſs nur der Theil ν durchgeht, so daſs die zum dritten Male in der Richtung der Linie *QT* nach oben hin reflektirte Lichtmenge $=\nu^2\pi^2\varrho$ ist u. s. w. Bezeichnet man nun alles in den Richtungen *BR*, *DS*, *QT*.... fortgehende Licht mit λ, so ist also:

$$\lambda=\varrho+\nu^2\pi+\nu^2\pi^2\varrho+\nu^2\pi^3\varrho^2\ldots.=\varrho+\frac{\nu^2\pi}{1-\pi\varrho},$$

und wenn eben so alles abwärts in den Richtungen *GL*, *KV*.... durch die Gläser durchgehende Licht mit $\varkappa$ bezeichnet wird:

$$\varkappa=\nu\mu+\nu\mu\pi\varrho+\nu\mu\pi^2\varrho^2+\nu\mu\pi^3\varrho^3\ldots.=\frac{\nu\mu}{1-\pi\varrho}.$$

Diese Gleichungen gelten, wie auch immer die Durchsichtigkeit der Gläser beschaffen sein mag. Werden sie aber als vollkommen durchsichtig vorausgesetzt, so ist sowohl $\varrho+\nu=1$, als auch $\pi+\mu=1$, und daher

$$\lambda = \varrho + \frac{(1-\varrho)^2\pi}{1-\pi\varrho} = \frac{\varrho + \pi - 2\pi\varrho}{1-\pi\varrho},$$

$$\varkappa = \frac{\nu\mu}{1-(1-\mu)(1-\nu)} = \frac{\nu\mu}{\nu+\mu-\nu\mu}.$$

Läfst man, mit Beibehaltung eines einzigen Glases in F, in B der Reihe nach folgen 0, 1, 2, 3 .... $x-1$ Gläser, so dafs die Zahl aller ist 1, 2, 3 .... x: so hat man, da für ein Glas $\varrho = M$, $\nu = N$; für zwei Gläser $\varrho = \pi = M$, $\nu = \mu = N$; für drei Gläser $\varrho = \frac{2M}{1+M}$, $\pi = M$, $\nu = \frac{N}{2-N}$, $\mu = N$ ....:

Gläser.	reflektirtes Licht.	durchgelassenes Licht.
1	$M = M$	$N = N$
2	$M' = \frac{2M}{1+M}$	$N' = \frac{N}{2-N}$
3	$M'' = \frac{3M}{1+2M}$	$N'' = \frac{N}{3-2N}$
.	.	.
.	.	.
.	.	.
.	.	.
x	$X = \frac{x \, . \, M}{1+(x-1)M}$	$Y = \frac{N}{x-(x-1)N}$.

Diese für jeden Neigungswinkel, unter welchem das Licht einfällt, anwendbaren Formeln werden für den Winkel L, unter welchem die reflektirte Lichtmenge der durchgelassenen gleich ist, giltig werden, wenn man setzt:

$$(3)\ \tfrac{1}{2} = \frac{x \, . \, M}{1+(x-1)M} = \frac{N}{x-(x-1)N},$$

woraus in Verbindung mit (1) und (2):

$$(4)\ M = \frac{q+p}{1+p} = \frac{1}{1+x},$$

$$(5)\ N = \frac{1-q}{1+p} = \frac{x}{1+x},\ \text{und}$$

$$(6)\ p = \frac{1 - q - qx}{x},$$

$$(7)\ q = \frac{1 - px}{1 + x},$$

so dafs also das von einem einzigen Glase unter dem Winkel L reflektirte Licht M und durchgelassene N von der Zahl x der Gläser abhängt, die zusammengenommen das unter demselben Winkel L auf sie fallende Licht so theilen, dafs das reflektirte X dem durchgelassenen Y gleich wird.

Um den Neigungswinkel zu erhalten, unter welchem bei einem einzigen Glase die reflektirte Lichtmenge der durchgelassenen gleich ist, suchte Lambert, nachdem er auf eine schwarze, in einer weifsen Ebene gezogene feine Linie eine Glastafel gestellt hatte, den Ort des Auges, wo der durch die Reflexion des Lichtes gesehene Theil der Linie eben so aschfarbig erschien, wie der durch die Brechung der Stralen gesehene. Er fand den einer solchen Vertheilung des Lichtes entsprechenden Neigungswinkel $= 14^\circ\frac{1}{2}$. Nachdem er in derselben Weise zwei, drei und mehrere Gläser hinter einander aufgestellt hatte, erhielt er die Neigungswinkel, unter denen das Licht gleich stark reflektirt und gebrochen wird, für die beigesetzte Zahl der Gläser folgendermaafsen:

Gläser.	Neigungswinkel.	Gläser.	Neigungswinkel.
1	$14^\circ\frac{1}{2}$	6	39°
2	22°	7	43°
3	27°	8	47°
4	31°	9	$50^\circ\frac{1}{2}$.
5	35°		

Bringt man dies mit den Gleichungen (4) und (5)

in Verbindung, so hat man also bei einem einzigen Glase für den Neigungswinkel von

(8) $14^0\frac{1}{2}$	$M=\frac{1}{2}$	$N=\frac{1}{2}$
22^0	$M=\frac{1}{3}$	$N=\frac{2}{3}$
27^0	$M=\frac{1}{4}$	$N=\frac{3}{4}$

. . . .

Zur numerischen Berechnung der Werthe von p und q bedient sich Lambert hierauf einer Approximations-Methode, die Newton bei der Bestimmung der Grenzen, zwischen denen die Oerter eines Kometen liegen, angewandt hatte.[1]) Es ist nämlich an sich einleuchtend, dafs

$$p>0 \qquad p<1$$
$$q>0 \qquad q<1,$$

oder nach (6) und (7):

$$\frac{1-q-qx}{x}>0 \qquad \frac{1-px}{1+x}>0, \text{ folglich}$$

$$q<\frac{1}{1+x} \qquad p<\frac{1}{x}.$$

Nimmt man daher statt x der Reihe nach 1, 2, 3 . . . ., so erhält man für ein einziges Glas unter dem Neigungswinkel von

$14^0\frac{1}{2}$	$q<\frac{1}{2}$	$p<\frac{1}{1}$
22^0	$q<\frac{1}{3}$	$p<\frac{1}{2}$
27^0	$q<\frac{1}{4}$	$p<\frac{1}{3}$

. . . .

So wie hier q in engere Grenzen, als p eingeschlossen ist, so lehrt auch die Erfahrung, dafs der von den inneren Seiten des Glases reflektirte Theil p des Lichtes gröfser ist, als q, der von der äufseren Seite reflektirte. Es ist daher ferner aus (6) und (7):

1) *Systema mundi* in den *Opusc.*, tom. II, pag. 58.

$$\frac{1-q-qx}{x} > q \qquad \frac{1-px}{1+x} < p, \text{ woraus}$$

$$q < \frac{1}{1+2x} \qquad p > \frac{1}{1+2x},$$

folglich, wenn man für x wieder 1, 2, 3 .... nimmt, unter dem Neigungswinkel von

$14^0\frac{1}{2}$	$q < \frac{1}{3}$	$p > \frac{1}{3}$ und $< \frac{1}{1}$
22^0	$q < \frac{1}{5}$	$p > \frac{1}{5} \ldots < \frac{1}{2}$
27^0	$q < \frac{1}{7}$	$p > \frac{1}{7} \ldots < \frac{1}{3}$.

. . . .

Da man ferner findet, dafs wenigstens bei gröfseren Neigungswinkeln die gesammte reflektirte Lichtmenge M gröfser ist, als der von den inneren Seiten reflektirte Theil p, und nach (4):

$$M = \frac{q+p}{1+p} = p + \frac{q-p^2}{1+p},$$

so ist $\frac{q-p^2}{1+p}$ positiv, und daher

$$q > p^2.$$

Da aber zugleich

$$p > \frac{1}{1+2x}, \text{ und nach (7):}$$

$$q = \frac{1-px}{1+x}, \text{ so ist auch}$$

$$\frac{1-px}{1+x} > \frac{1}{(1+2x)^2}, \text{ oder}$$

$$p < \frac{3+4x}{(1+2x)^2},$$

und, wenn man für x wieder 1, 2, 3 .... setzt, unter dem Neigungswinkel von

$14^0\frac{1}{2}$	$p > \frac{1}{3}$ und $< \frac{7}{9}$	$q > \frac{1}{9}$ und $< \frac{1}{3}$
22^0	$p > \frac{1}{5} \ldots < \frac{11}{25}$	$q > \frac{1}{25} \ldots < \frac{1}{5}$
27^0	$p > \frac{1}{7} \ldots < \frac{15}{49}$	$q > \frac{1}{49} \ldots < \frac{1}{7}$.

. . . .

Da kein Grund vorhanden ist, p und q der einen Grenze näher, als der anderen annehmen zu wollen, so wird endlich das arithmetische Mittel zwischen diesen Grenzen die Werthe von q und p selbst geben, und es ist demnach unter dem Neigungswinkel von

(9) $14^0\frac{1}{2}$	$q = \frac{2}{9}$	$p = \frac{5}{9}$
22^0	$q = \frac{3}{25}$	$p = \frac{8}{25}$
27^0	$q = \frac{4}{49}$	$p = \frac{11}{49}$

. . . . ,

und unter dem Neigungswinkel, unter welchem x Gläser gleich viel Licht reflektiren und durchlassen:

$$q = \frac{1+x}{(1+2x)^2} \qquad p = \frac{2+3x}{(1+2x)^2}.$$

Um die Werthe von q und p nicht blofs für die angegebenen Neigungswinkel, sondern auch für jeden anderen bestimmen zu können, nimmt Lambert an, dafs ein Lichtstral (Fig. 69.) AB beim Uebergange aus der Luft in das Glas, und aus diesem in die Luft nicht plötzlich abgelenkt werde, sondern erst innerhalb der parallelen Grenzen KC und PR an der Oberfläche des Glases eine Kurve BR beschreibe, ehe er in diesem in der Richtung RS, der Tangente von R, geradlinig fortgeht. Für einen beliebigen Punkt G dieser Kurve sei die Ordinate $GF = y$ bis zum verlängerten Einfallslothe $BF = x$ des Punktes B, und in verschwindend kleiner Entfernung die Ordinate $gf = y + \partial y$ gezogen, aus G das Loth $Gg' = \partial x$ auf gf, und das Loth GC auf BC gefällt, der Einfallswinkel $ABD = \gamma$, der Winkel $gGg' = \delta$, und $\sin\gamma : \sin\delta = BK : FQ = 1 : \varkappa$. Ist nun das in B einfallende Licht $= 1$, und der Rest, der bei seiner Ankunft in G übrig bleibt, $= v$: so läfst sich die Lichtmenge, die auf dem unendlich kleinen Wege Gg reflektirt wird, als das Differential von v ansehen, das der reflektirenden Kraft des Mit-

tels, welche k sei, der Menge v des Lichtes in G, dem durchlaufenen Wege $Gg = (\partial x^2 + \partial y^2)^{\frac{1}{2}}$, und einer Funktion des Neigungswinkels $Ggg' = 90^\circ - \delta$ proportional sein wird. Für diese Funktion nimmt Lambert der Erfahrung gemäfs, dafs die reflektirte Lichtmenge um so gröfser wird, je kleiner der Neigungswinkel ist, ohne dafs jedoch bei senkrechter Incidenz der Stralen gar keine Reflexion derselben Statt findet, die Cosekante an, so dafs, da v um so mehr abnimmt, je mehr ∂v wächst:

$$-\partial v = \frac{kv(\partial x^2 + \partial y^2)^{\frac{1}{2}}}{\cos\delta}.$$ Da aber

$$\cos\delta = \frac{\partial x}{(\partial x^2 + \partial y^2)^{\frac{1}{2}}},$$ so ist auch

$$-\frac{\partial v}{v} = \frac{k(\partial x^2 + \partial y^2)}{\partial x},$$

und, weil $x \sin\gamma = \sin\delta = \frac{\partial y}{(\partial x^2 + \partial y^2)^{\frac{1}{2}}}$, also $\partial x^2 + \partial y^2 = \frac{\partial x^2}{1 - x^2 \sin^2\gamma}$:

$$-\frac{\partial v}{v} = \frac{k\partial x}{1 - x^2 \sin^2\gamma} = \frac{k \operatorname{cosec}^2\gamma\, \partial x}{\operatorname{cotg}^2\gamma + 1 - x^2}$$
$$= \frac{k\partial x}{\sin^2\gamma} \left\{ \frac{1}{\operatorname{cotg}^2\gamma + 1 - x^2} \right\},$$

oder

$$(10)\quad -\frac{\partial v}{v}$$
$$= \frac{k\partial x}{\sin^2\gamma}(\operatorname{tang}^2\gamma - (1 - x^2)\operatorname{tang}^4\gamma + (1 - x^2)^2 \operatorname{tang}^6\gamma \ldots),$$

und, da der Einfallswinkel γ in diesen Rechnungen konstant ist:

$$Log.\frac{1}{v} = \sec^2\gamma \int k\partial x - \operatorname{tang}^2\gamma \sec^2\gamma \int (1 - x^2) k\partial x \ldots$$

Die Integrale sind aber gleichfalls konstante Grössen, sobald die gesammte Menge des von dem Mittel *KR* reflektirten Lichtes, während dies von *B* nach *R* gelangt, bestimmt werden soll. Denn die reflektirende, den Durchgang des Lichtes hemmende Kraft k wächst mit der Tiefe des Mittels, sie läſst sich durch die Ordinaten *BH*, *FW*, *EP* .... der Kurve *HWP* vorstellen, und ist eben so, wie $FQ = z$, nur eine Funktion von x, so daſs, wenn nach geschehener Integration statt x die konstante Tiefe *BE* des Mittels genommen wird, alle jene Integrale einen unveränderlichen Werth erhalten. Erwägt man ferner, daſs z für die ganze Kurve *BR* nicht bedeutend von dem Werthe $\frac{2}{3}$ abweichen kann, das zweite und die folgenden Glieder jener Reihe also sehr abnehmen, und daher gegen das erste unberücksichtigt bleiben können: so hat man endlich, wenn $\int k \partial x = \alpha$ gesetzt wird:

$$Log. \frac{1}{v} = -Log. v = -Log. (1-q) = \alpha sec^2 \gamma.$$

Da man für den von den inneren Seiten des Glases reflektirten Theil p des Lichtes die Gleichung:

$$-Log. v' = -Log. (1-p) = \alpha' sec^2 \gamma$$

von ähnlicher Form anzunehmen berechtigt ist: so sind nur noch, um die gesammte, durch wiederholte Zurückwerfungen von den inneren, und Brechungen an der äuſseren Seite des Glases reflektirte Lichtmenge M für jeden Neigungswinkel $90^0 - \gamma$ bestimmen zu können, die konstanten Koefficienten α und α' zu berechnen. Lambert entnahm sie aus den für die beobachteten Neigungswinkel unter (9) berechneten Werthen von q und p, und erhielt so die Gleichungen:

$$(11)\quad Log.\,(1-q) = -\,0{,}0087214\; sec^2\gamma,$$
$$Log.\,(1-p) = -\,0{,}0199966\; sec^2\gamma,$$

durch welche die Aufgabe gelöst war.

Nach diesen Gleichungen ist z. B., wenn der Einfallswinkel $\gamma = 68^0$, der Neigungswinkel also $= 22^0$:

$$q = 0{,}1333 \qquad p = 0{,}2797,$$

folglich:

$$M = \frac{q+p}{1+p} = 0{,}3227.$$

Für eben diesen Neigungswinkel war aber vorhin unter (8) berechnet:

$$M = \tfrac{1}{3} = 0{,}3333,$$

so dafs also die Differenz zwischen beiden Werthen von M nur 0,0106 beträgt. Eine geringe Differenz ergiebt sich aber auch für alle übrigen, oben angegebenen Neigungswinkel, wie folgende Tabelle[1]) zeigt:

Neigungswinkel.	Aus den Gleichungen (11).			Aus den Gleichungen (8).	Differenz.
	q.	p.	$M = \frac{q+p}{1+p}$.		
$14^0\frac{1}{2}$	0,2741	0,5136	0,5205	0,5000	+ 0,0205
22^0	0,1333	0,2753	0,3204	0,3333	— 0,0130
27^0	0,0928	0,1968	0,2421	0,2500	— 0,0079
31^0	0,0729	0,1566	0,1985	0,2000	— 0,0015
35^0	0,0592	0,1283	0,1663	0,1667	— 0,0004
39^0	0,0494	0,1078	0,1428	0,1429	— 0,0001
43^0	0,0423	0,0925	0,1234	0,1250	— 0,0016
47^0	0,0368	0,0810	0,1091	0,1111	— 0,0020
$50^0\frac{1}{3}$	0,0332	0,0731	0,0991	0,1000	— 0,0009

1) Hier sind die Rechnungen Lambert's nicht ganz fehlerfrei, da nach dem unter (11) angegebenen Koefficienten von $Log.\,(1-p)$ die Werthe von p in beiden Tabellen durchgängig etwas gröfser sein müfsten. Der Fehler erstreckt sich indefs nur auf die beiden letzten Stellen. Die in den Tabellen berechneten Werthe von p entsprechen nicht dem Koefficienten: 0,0199966, sondern vielmehr dem Koefficienten: 0,0196174.

Da also die Differenzen für alle diese Neigungswinkel unbedeutend sind, so hielt Lambert die Gleichungen (11) für genau genug, um aus ihnen die Werthe von q und p für jeden anderen Neigungswinkel ableiten zu können. Es ergab sich auf diese Weise für die gesammte, von einem Glase reflektirte Lichtmenge M, und durch dasselbe durchgehende $N = 1 - M$ von 10 zu 10 Graden folgende Tabelle:

Neigungs-winkel.	q.	p.	$M = \frac{q+p}{1+p}$.	$N = 1 - M$.
10°	0,4862	0,7766	0,7108	0,2892
20°	0,1578	0,3204	0,3622	0,6378
30°	0,0772	0,1653	0,2070	0,7930
40°	0,0474	0,1046	0,1376	0,8624
50°	0,0337	0,0705	0,0973	0,9027
60°	0,0264	0,0585	0,0802	0,9198
70°	0,0225	0,0499	0,0690	0,9310
80°	0,0203	0,0450	0,0624	0,9376
90°	0,0199	0,0448	0,0619	0,9381

So zeigt also die Tabelle, wie beträchtlich die gesammte reflektirte Lichtmenge M abnimmt, wenn der Neigungswinkel wächst.

Dafs man mittelst eben dieser Tabelle auch die Menge des von x Gläsern reflektirten und durchgelassenen Lichtes nach den unter (3) bewiesenen Formeln:

$$X = \frac{x \cdot M}{1 + (x-1)M} \qquad Y = \frac{N}{x - (x-1)N}$$

berechnen könne, ist einleuchtend. So ist z. B. für den Neigungswinkel von 90°:

von Gläsern	reflektirtes Licht X	durchgelassenes Licht Y
1	0,0619	0,9381
2	0,1166	0,8834
3	0,1652	0,8348
. . .	. . .	. . .

welche Verhältnifszahlen indefs wegen der, besonders bei mehreren Gläsern nicht unbeträchtlichen Absorption des Lichtes noch einer Berichtigung bedürfen.

Um die Gröfse der Absorption zu erhalten, liefs Lambert die durch eine, auf der weifsen Ebene (Fig. 70.) CA senkrecht stehende Glastafel AB gebrochenen Stralen GC, HE...., und die von einer anderen schiefen, mit AB gleich durchsichtigen Tafel CD reflektirten Stralen FD, GC.... unter solchen Neigungswinkeln auf dieselbe Stelle CE der Ebene fallen, dafs diese Stelle eben so stark erleuchtet war, wie der übrige, im direkten Lichte liegende Theil der Ebene. Es ergaben sich dann die Neigungswinkel:

$$CBA = 41^0$$
$$BCA = 49^0$$
$$EDC = 25^0\tfrac{1}{2}$$
$$DEC = 80^0.$$

Für den Neigungswinkel $CBA = 41^0$ erhält man aber aus den Gleichungen (11):

$$q = 0{,}0456 \qquad p = 0{,}0997$$
$$M = 0{,}1296 \qquad N = 0{,}8704.$$

Da jedoch das gebrochene Licht N unter dem Neigungswinkel $BCA = 49^0$ auf die Ebene fiel, so wurde es im Verhältnisse des Sinus dieses Winkels geschwächt, und es war daher die vom Glase AB, wenn es vollkommen durchsichtig gewesen wäre, ausgehende Erleuchtung der Stelle $CE = 0{,}8704 \times 0{,}7547 = 0{,}6569$. Für die unter dem Neigungswinkel $EDC = 25^0\tfrac{1}{2}$ auf das

Glas CD fallenden Stralen ist ferner aus den Gleichungen (11):

$$q = 0{,}1027 \qquad p = 0{,}2164$$
$$M = 0{,}2623 \qquad N = 0{,}7377.$$

Da aber der Neigungswinkel dieser Stralen mit der Ebene $= 80^0$ war, ihre Erleuchtungskraft folglich im Verhältnisse des Sinus 0,9848 dieses Winkels geschwächt wurde, so war die vom Glase CD ausgehende Erleuchtung nur $0{,}2623 \times 0{,}9848 = 0{,}2587$. Die unter der Voraussetzung einer vollkommenen Durchsichtigkeit des Glases berechnete Erleuchtung der Stelle CE ist also $0{,}6569 + 0{,}2587 = 0{,}9156$. Da aber die Erleuchtungskraft des direkten Lichtes, das unter dem Winkel $BCA = 49^0$ auf die Ebene fiel, gleichfalls im Verhältnisse des Sinus dieses Winkels geschwächt wurde, so war die von demselben ausgehende Erleuchtung $= 0{,}7547$. Dieser war die von den Gläsern ausgehende gleich, die 0,9156 hätte sein müssen, wenn dieselben vollkommen durchsichtig wären. Das Licht wurde daher im Verhältnisse von $0{,}9156 : 0{,}7547 = 17 : 14$ geschwächt, so daſs der von der Absorption herrührende Unterschied $\frac{3}{17}$ des einfallenden betrug.

In dieser Weise berichtigte Lambert die oben berechneten Zahlenverhältnisse, und erhielt z. B. für den Neigungswinkel von 90^0:

von Gläsern	reflektirtes Licht	durchgelassenes Licht	zerstreutes Licht
1	0,0516	0,8111	0,1373
2	0,0856	0,6596	0,2548
3	0,1081	0,5368	0,3551
4	0,1228	0,4377	0,4495

. . . .

Diese hier nur nach ihren Umrissen ausgeführte Rechnung, die im Lambertschen Werke beinahe

hundert Seiten einnimmt,[1]) ist die unter allen, die man dort findet, bei weitem verwickeltste und schwierigste. Wie viel weniger ausführlich Bouguer bei eben jener Aufgabe zu Werke gegangen sei, geht aus der Vergleichung der von beiden erhaltenen Resultate hervor. Auch er hatte allerdings gefunden, dafs um so mehr Licht zurükgeworfen werde, je kleiner der Neigungswinkel ist, und dafs die innere Reflexion grösser sei, als die äufsere, auf die unendlich vielen Reflexionen und Brechungen aber, die das Licht in jedem Glase erleidet, keine Rücksicht genommen, auch die Gröfse der Absorption nicht berechnet.

Von dem durch gläserne Spiegel reflektirten Lichte.

Lambert liefs die Stralen einer Kerze (Fig. 71.) *L* senkrecht auf eine weifse Ebene nach *A* fallen, stellte zwischen *L* und eine andere Stelle *B* der Ebene einen undurchsichtigen Gegenstand, und erleuchtete diese Stelle *B* durch das, von vier ebenen, mit Quecksilber-Amalgam belegten, gläsernen Spiegeln *M*, *N*, *P*, *Q* reflektirte Licht, diese Spiegel so weit nähernd, bis *B* eben so hell erschien, wie die von dem direkten Lichte erleuchtete Stelle *A*, während die Stralen unter fast rechten Winkeln nicht blofs auf die Spiegel fielen, sondern auch nach *B* zurückgeworfen wurden. Er maafs hierauf sowohl die Entfernung der Kerze von *A*, als auch die der Spiegel von der Kerze und von *B*, und erhielt dadurch, wenn *m*, *n*, *p*, *q* die durch die Spiegel entstehenden Bilder sind, die Linien *LA*, *Bm*, *Bn*, *Bp*, *Bq*. Würde nun weder durch die Oberflächen der Spiegel, noch in ihrem Inneren Licht zerstreut,

1) Von pag. 148. bis pag. 232.

sondern alles auffallende vollständig zurückgeworfen: so würde B durch die Bilder m, n, p, q, wie durch vier Kerzen erleuchtet worden sein, die an Gröfse und Glanz der Flamme L gleich sind, und es müfste, da sich die durch eine jede dieser Flammen bewirkte Erleuchtung umgekehrt, wie das Quadrat ihrer Entfernung von B verhält,

$$\frac{1}{AL^2} = \frac{1}{Bm^2} + \frac{1}{Bn^2} + \frac{1}{Bp^2} + \frac{1}{Bq^2}, \text{ oder}$$

$$1 = \frac{AL^2}{Bm^2} + \frac{AL^2}{Bn^2} + \frac{AL^2}{Bp^2} + \frac{AL^2}{Bq^2}$$

sein. Die Summe dieser Quadrate, wie sie sich aus den Zahlenwerthen der Linien ergab, war jedoch nicht 1, sondern 1,8691. Es war folglich das Licht im Verhältnisse von 1,8691 : 1, oder von 1 : 0,5352 durch die Reflexion geschwächt worden, so dafs die Menge des reflektirten bei senkrechter Incidenz der Stralen etwa nur die Hälfte des einfallenden beträgt. [1])

Vom Quecksilber wird bei senkrechten Stralen, wie Lambert fand, der dritte Theil des einfallenden Lichtes absorbirt. Wird auch hier die Gleichung (pag. 360.)

$$Log. (1 - \pi) = -\alpha \sec^2\gamma$$

zum Grunde gelegt, in welcher γ den Einfallswinkel, π das vom Quecksilber reflektirte, $1 - \pi$ also das absorbirte Licht ist: so hat man folglich, da $\sec\gamma = 1$ für $\gamma = 0$:

$$\alpha = -Log. \tfrac{1}{3} = Log. 3 = 0{,}4771213, \text{ und}$$

$$(1) \quad Log. (1 - \pi) = -0{,}4771213 \sec^2\gamma.$$

So ist z. B., wenn $\gamma = 45^0$ gesetzt wird, $\sec^2\gamma = 2$, und

$$Log. (1 - \pi) = -0{,}9542426, \text{ folglich}$$

$$1 - \pi = \tfrac{1}{9}, \text{ und } \pi = \tfrac{8}{9}.$$ [2])

1) *Phot.*, pag. 315.
2) *Ibid.*, pag. 318.

Da also die vom Quecksilber unter jedem Neigungswinkel reflektirte Lichtmenge hiernach bestimmt werden kann, so läfst sich auch für das von einem gläsernen, mit Quecksilber-Amalgam belegten Spiegel unter jedem Neigungswinkel reflektirte Licht ein allgemeingiltiger Ausdruck angeben. Es werde nämlich, wenn Fig. 67. einen solchen Spiegel vorstellt, das in B einfallende Licht $=1$ im Verhältnisse von $1:q$ reflektirt, in dem von $1:n$ durchgelassen; das in C einfallende im Verhältnisse von $1:\pi$ reflektirt; das in D einfallende im Verhältnisse von $1:p$ reflektirt, und in dem von $1:m$ durchgelassen; es werde ferner das Licht, indem es die Linie $BC = CD = DE \ldots.$ durchläuft, im Verhältnisse von $1:\lambda$ geschwächt, und es sei, wie in den früheren Rechnungen, die gesammte in den Punkten B, D, $F \ldots.$ reflektirte Lichtmenge $=M$: so hat man auf dieselbe Weise, wie oben (pag. 352.):

$$(2)\quad M = q + nm\pi\lambda^2 + mn\pi^2 p\lambda^4 \ldots. = q + \frac{nm\pi\lambda^2}{1-\pi p\lambda^2}.$$

Ist z. B. der Einfallswinkel $ABG = 60^0$, so ist für das Brechungsverhältnifs $\frac{3}{2}$ der Winkel $CBH = 35^0\ 15'$, der Winkel BCH folglich, unter dem die Stralen auf das Quecksilber fallen, $= 54^0\ 45'$. Aus der Gleichung (1) ergiebt sich daher, da hier $sec^2\gamma = cosec^2\ 54^0\ 45' = 1{,}5$:

$$Log.(1-\pi) = -0{,}7156819,$$

und $\pi = 0{,}8075 = \frac{4}{5}$. Ferner ist aus der Tabelle pag. 362. für den Neigungswinkel von 30^0:

$$q = 0{,}0772 \qquad n = 1 - q = 0{,}9228$$
$$p = 0{,}1653 \qquad m = 1 - p = 0{,}8347,$$

folglich aus (2), wenn man, wie Lambert anzunehmen sich veranlafst findet, $\lambda^2 = \frac{5}{6}$ setzt:

$$M = 0{,}6514.$$

Es beträgt also das von einem gläsernen Spiegel unter dem Neigungswinkel von 30° reflektirte Licht ungefähr $\frac{2}{3}$ des einfallenden.

Lambert dehnte seine Untersuchungen über den Verlust, den das Licht bei der Reflexion erleidet, auch noch auf einige andere undurchsichtige, namentlich weiſse Körper aus. Erscheint uns ein Gegenstand weiſs, ohne alles einfallende Licht zu reflektiren, so wird dies nur durch die Annahme erklärlich, daſs die zurückgeworfenen Stralen die zur Weiſse erforderliche Mischung haben. Einen Körper von absoluter Weiſse (*albedo absoluta*), der alles einfallende Licht reflektirt, giebt es zwar nicht in der Natur; dies hindert jedoch nicht, sie für die Menge der reflektirten Stralen zur Einheit zu nehmen. Lambert legt deshalb dem Bleiweiſs, das nach seinen Versuchen von 10000 einfallenden Stralen 4230 zurückwirft, die Weiſse 0,4230, einem Buche Papier von der weiſsesten Gattung, das unter 10000 einfallenden Stralen 4000 reflektirt, die Weiſse $\frac{2}{5}$ u. s. w. bei.

Würde das Bleiweiſs alle einfallenden Stralen reflektiren, so würde seine Erleuchtung auf der Erde, wenn es der im Zenithe stehenden Sonne in horizontaler Lage entgegengehalten wird, 46165 mal schwächer sein, als in der Nähe der Sonne, wo es dann einen gleichen Glanz mit ihr hätte (pag. 346.). Da aber der gröſsere Theil der auffallenden Stralen durch das Bleiweiſs absorbirt wird, und seine Weiſse nur 0,4230 ist: so kann seine Erleuchtung nur dem Bruche $\frac{0,4230}{46165} = 0,000009163$ proportional sein.

Wollte man hiernach die gesehene Helligkeit des Bleiweiſses mit der des Sonnenlichtes vergleichen, so folgt aus dem oben (pag. 340.) angegebenen Be-

griffe der gesehenen Helligkeit, dafs sie von der Entfernung der leuchtenden Fläche nicht abhängt. Denn ist die Gröfse derselben $= F$, der absolute Glanz eines jeden ihrer Elemente $= I$, und ihre Entfernung $= D$: so ist die von ihr ausgehende Lichtmenge dem Ausdrucke $\frac{F.I}{D^2}$ proportional. Die gesehene Helligkeit eines Gegenstandes ist aber die von ihm ausströmende, und ins Auge dringende Lichtmenge, dividirt durch die Gröfse seines Bildes auf der Netzhaut. Dies Bild ist dem Bruche $\frac{F}{D^2}$, und daher die gesehene Helligkeit des Gegenstandes dem Quotienten $\frac{F.I}{D^2} : \frac{F}{D^2} = I$, also nur dem absoluten Glanze eines jeden seiner Elemente proportional. Die gesehene Helligkeit und die Erleuchtungskraft eines und desselben Gegenstandes sind daher verschieden von einander. Die von der Entfernung unabhängige gesehene Helligkeit eines Sternes kann sehr bedeutend sein, während die von ihm ausgehende Erleuchtung der Erde wegen der Kleinheit des Raumes, den er am Himmel einnimmt (pag. 346.), ganz unbeträchtlich ist.

Die gesehene Helligkeit des von der Sonne erleuchteten Bleiweifses hängt also von dem absoluten Glanze eines jeden seiner Elemente, und dieser wieder von der Erleuchtungskraft der Sonne auf der Erde, und von der Weifse des Elementes ab. Es entspricht daher die gesehene Helligkeit des Bleiweifses dem Bruche 0,000009163, während die der Sonne $= 1$ ist, d. h. es ist die gesehene Helligkeit der Sonne $\frac{1}{0{,}000009163} = 109137$ mal gröfser, als die des Bleiweifses, selbst mit Rück-

sicht auf die Absorption durch die Atmosphäre, da die ins Auge dringenden Stralen durch dieselbe eben so stark geschwächt werden, wie die auf das Bleiweifs fallenden. [1])

Von der Absorption des Lichtes bei dem Durchgange durch die Atmosphäre, und von der Erleuchtung der Planeten durch die Sonne.

Bouguer hatte, wie wir oben gesehen haben, die Stärke des senkrecht durch die Atmosphäre gehenden Lichtes $= 0{,}8123$ berechnet, wenn die des ausserhalb derselben befindlichen $= 1$ gesetzt wird; Lambert dagegen fand in Chur bei einer Barometer-Höhe von 26 Zoll die Absorption des Lichtes bedeutender, seine Stärke nach dem senkrechten Durchgange durch die Luft nämlich nur 0,59. [2]) Nachdem er auf theoretischem Wege ermittelt hat, dafs der Logarithmus der nach dem Durchgange durch die Atmosphäre übrig bleibenden Dichtigkeit der Stralen sich, wie die Summe aller Hindernisse verhält, die das Licht zu überwinden hatte, ohne dafs es dabei auf die Krümmung des Weges, und die Art der Vertheilung der Hindernisse ankommt, leitet er hieraus die Gleichung [3]) ab:

$$Log\, v = -0{,}23\, sec\, \gamma,$$

wenn γ die Zenith-Distanz des Sternes, und v die übrig gebliebene Dichtigkeit des Lichtes bedeutet, und entwirft hiernach folgende Tabelle:

1) *Phot.*, pag. 352.

2) *Ibid.*, pag. 397. Lambert theilt dies Resultat mit, ohne anzugeben, wie er es erhalten habe.

3) Nach Bouguer's Beobachtungen müfste diese Gleichung sein: $Log.\, v = -0{,}089\, sec\, \gamma$.

Höhe des Gestirnes.	Werthe von *v*.	Höhe des Gestirnes.	Werthe von *v*.
90°	0,5889	40°	0,4387
80°	0,5841	30°	0,3467
70°	0,5692	20°	0,2126
60°	0,5425	10°	0,0476
50°	0,5009	Licht aufserhalb der Atmosphäre..	1,0000

Nachdem Lambert noch die gesehene Helligkeit der Luft, die er im Allgemeinen im Horizonte und in der Nähe der Sonne am gröfsten fand, berechnet hat, geht er hierauf zur Erleuchtung der Planeten durch die Sonne über, mit deren Ermittelung sich vor ihm aufser Bouguer schon Thümmig und Euler,[1]) Kies[2]) und Smith[3]) beschäftigt, nicht aber alle zur Verminderung des Lichtes mitwirkenden Ursachen berücksichtigt hatten.

Es sei (Fig. 72.) *AFBG* der Mond, *C* sein Mittelpunkt, *FESG* ein gröfster Kreis, der durch eine Ebene entsteht, welche durch *C*, und die Mittelpunkte *E* der Erde und *S* der Sonne gelegt ist, so dafs die Erde über dem Punkte *E*, und die Sonne über dem Punkte *S* des Mondes steht; es sei ferner *S* die Mitte des Halbkreises *FSG*, also *AFBG* die von der Sonne erleuchtete Hälfte des Mondes. Die Pole von *FSG* sein *A* und *B*, durch dieselben der Bogen *AEB*, und noch zwei andere, unendlich nahe *AMB*, *AmB*, aus *A* aber die gleichfalls unendlich nahen Bogen *Pp* und

1) In den vorhin genannten Abhandlungen.
2) *Mém. de l'acad. de Berlin*, 1750. pag. 218.
3) Lehrbegriff der Optik, übers. von Kästner, pag. 382.

Qq gezogen. Es sei endlich für den Halbmesser *CE* des Mondes $=1$:

$$AP = x, \qquad FM = y,$$
$$FE = a, \qquad EM = y - a.$$

Durch die unendlich nahen Bogen ist ein Element *Pq* des Sektors *AFBMA* konstruirt, dessen Erleuchtung wie der Sinus seiner Neigung gegen die parallelen Sonnenstralen, also wie der Cosinus des Bogens *SP* abnimmt, und daher der Formel (pag. 346.)

$$(1)\quad A \sin^2 s \cos SP = A \sin^2 s \sin x \cos(y - 90^0)$$
$$= A \sin^2 s \sin x \sin y$$

proportional ist, wenn A, bei der grofsen Verschiedenheit der reflektirenden Kraft verschiedener Stellen des Mondes, die unter allen mittlere Weifse desselben, und s der mittlere sichtbare Halbmesser der vom Monde aus gesehenen Sonne ist.

Da die nach dieser Formel berechnete Erleuchtung, und die hiermit zusammenhängende gesehene Helligkeit der Elemente, wegen der unendlich verschiedenen Gröfse von x und y, unendlich viele Werthe hat, so mufs man die unter allen mittlere Erleuchtung dadurch zu erhalten suchen, dafs man die sichtbare Gröfse eines jeden Elementes mit seiner Erleuchtung multiplicirt, und die Summe aller dieser Produkte durch die sichtbare Gröfse des ganzen Sektors dividirt. Es ist aber der Inhalt des Elementes (pag. 348.)

$$Pq = \sin x \partial x \partial y,$$

folglich seine sichtbare Gröfse, welche wie der Sinus der Neigung der parallelen Stralen gegen das Element, also wie der $\cos EP = \cos(y - a) \sin x$ abnimmt:

$$(2)\quad \partial\partial w = \sin^2 x \cos(y - a) \partial x \partial y.$$

Integrirt man nach x, indem man y und ∂y konstant setzt, so ist (pag. 350.)

$$\partial w = cos(y-a)\partial y \left\{ \frac{x}{2} - \frac{sin 2x}{4} \right\},$$

wenn aber x konstant genommen wird, das auf y sich beziehende Integral:

$$w = \left\{ \frac{x}{2} - \frac{sin 2x}{4} \right\} sin(y-a) + Const.,$$

und wenn die Konstante für $y=0$ hinzugefügt wird:

$$w = \left\{ \frac{x}{2} - \frac{sin 2x}{4} \right\} (sin(y-a) + sin\, a),$$

folglich, wenn man $x = 180^0 = \pi$ nimmt, die sichtbare Gröfse des ganzen Sektors *AFBMA*:

$$(3)\quad w = \frac{\pi}{2}(sin(y-a) + sin\, a).$$

Das Produkt der sichtbaren Gröfse eines jeden Elementes mit seiner Erleuchtung ist also nach (1) und (2):

$$\partial\partial q = A\, sin^2 s\, sin^3 x\, sin\, y\, cos(y-a)\,\partial y\,\partial x,$$

und wenn y und ∂y konstant gesetzt werden:

$$\partial q = A\, sin^2 s\, sin\, y\, cos(y-a)\,\partial y\,(Const. - cos\, x + \tfrac{1}{3} cos^3 x),$$

folglich, wenn die Konstante für $x=0$ hinzugefügt wird:

$$\partial q = A\, sin^2 s\, sin\, y\, cos(y-a)\,\partial y\,(\tfrac{2}{3} - cos\, x + \tfrac{1}{3} cos^3 x),$$

und, wenn man das auf y sich beziehende Integral nimmt:

$$q =$$

$$A\sin^2 s\left\{\tfrac{2}{3}-\cos x+\frac{\cos^3 x}{3}\right\}\int(\cos a \sin y.\partial\sin y+\sin a\sin^2 y\partial y),$$

$$=$$

$$A\sin^2 s\left\{\tfrac{2}{3}-\cos x+\frac{\cos^3 x}{3}\right\}\left\{\frac{\cos a\sin^2 y}{2}+\frac{\sin a}{2}\left(y-\frac{\sin 2y}{2}\right)\right\},$$

$$=$$

$$\frac{A\sin^2 s}{2}\left\{\tfrac{2}{3}-\cos x+\frac{\cos^3 x}{3}\right\}(\sin(y-a)\sin y+y\sin a),$$

welches für $x=180^\circ=\pi$ in den Werth übergeht:

$$(4)\quad q=\tfrac{2}{3}A\sin^2 s(\sin(y-a)\sin y+y\sin a),$$

welcher die Summe der Produkte eines jeden Elementes mit seiner Erleuchtung ist. Die mittlere Erleuchtung η des Sektors ist aber der Quotient dieser Summe durch seinen Inhalt. Man hat daher aus (3) und (4):

$$(5)\quad \eta=\frac{q}{w}=\frac{4A\sin^2 s(\sin(y-a)\sin y+y\sin a)}{3\pi(\sin(y-a)+\sin a)}.$$

Um den Bogen ES in diese Formel zu bringen, sei:

$$EM=y-a=90^\circ,$$

$$y=90^\circ+a,$$

und man hat, da $ES=90^\circ-a$, also $a=90^\circ-ES$ ist:

$$y=180^\circ-ES=\pi-ES,$$

folglich aus (5):

$$\eta=\frac{4A\sin^2 s(\sin ES+(\pi-ES)\cos ES)}{3\pi(1+\cos ES)},$$

und wenn man den Bogen $\pi-ES$, welcher die Entfernung des Mondes von der Konjunktion mit der Sonne angiebt, $=v$ setzt:

$$(6)\quad \eta=\frac{4A\sin^2 s(\sin v-v\cos v)}{3\pi(1-\cos v)}.$$

Um hieraus das von **Bouguer** durch wiederholte Beobachtungen bestimmte Verhältnifs zwischen der gesehenen Helligkeit (pag. 313.) der Sonne und des Mondes zu erhalten, müfste man annehmen, dafs die mittlere Weifse A des Vollmondes $= \frac{1}{4}$ sei. Denn da für den Vollmond $v = 180^0 = \pi$, so ergiebt sich aus dieser Voraussetzung, wenn $s = 16'$ genommen wird, die mittlere gesehene Helligkeit des Vollmondes: [1])

$$\eta = \frac{\sin^2 16'}{6} = \frac{1}{277000}.$$

Lambert ist indefs geneigt, die Weifse des Mondes für geringer zu halten, weil die des Bleiweifses nur $\frac{2}{5}$ ist. Er läfst daher die Frage, um wie viel die gesehene Helligkeit des Mondes von der des Sonnenlichtes übertroffen werde, unentschieden, wendet aber die Gleichung (6) an, um die mittlere gesehene Helligkeit der Phasen des Mondes unter sich zu vergleichen, indem er $A \sin^2 s$, welches, wie aus (1) hervorgeht, die gesehene Helligkeit des Vollmond-Elementes (Fig. 72.) S ist, über welchem die Sonne im Zenithe steht, die sogenannte **Central-Helligkeit** des Vollmondes zur Einheit nimmt, und zwar, da auch diese nach den verschiedenen Entfernungen der Erde und des Mondes von der Sonne verschieden ist, eine mittlere unter allen. Die Gleichung (6) giebt dann folgende Tabelle:

1) *Phot.*, pag. 464.

Entfernung des Mondes von der Sonne.	Mittlere gesehene Helligkeit der Phase.	Entfernung des Mondes von der Sonne.	Mittlere gesehene Helligkeit der Phase.
0°	0,0000	100°	0,4657
10°	0,0494	110°	0,5048
20°	0,0986	120°	0,5413
30°	0,1475	130°	0,5747
40°	0,1959	140°	0,6043
50°	0,2437	150°	0,6294
60°	0,2907	160°	0,6490
70°	0,3366	170°	0,6619
80°	0,3814	180°	0,6666
90°	0,4244		

Man sieht unter anderen aus dieser Tabelle, dafs die mittlere gesehene Helligkeit des Vollmondes nur $\frac{2}{3}$ der mittleren Central-Helligkeit beträgt, da der Bruch $0{,}6666 = \frac{2}{3}$.

Die mittlere Central-Helligkeit der übrigen Planeten in der Opposition berechnet Lambert aus dem umgekehrten Verhältnisse des Quadrates ihrer mittleren Entfernung von der Sonne, indem er die Central-Helligkeit der Erde in ihrer mittleren Entfernung von der Sonne zur Einheit nimmt.

Unter den von Lambert gelösten Aufgaben habe ich die bemerkenswertheren und schwereren gewählt, um an ihnen die strenge Folgerichtigkeit seiner Methode nachweisen zu können. Sollte es in der Zukunft gelingen, die Theorie der Absorptions-Erscheinungen zu demselben Grade der Vollendung zu erheben, zu welchem jetzt schon die übrigen Gebiete der Optik gebracht sind: so wird dies auf keinem anderen Wege, als dem von Lambert befolgten erreicht werden können. Durch eine scharfe Begrenzung der Begriffe, die

man mit den verschiedenen photometrischen Kunstausdrücken zu verbinden hat, durch ein vorsichtiges Sondern des Zufälligen und Unwesentlichen von den konstanten Ursachen der Verminderung des Lichtes, durch eine passende Wahl der Einheit für die Erleuchtungskraft der leuchtenden Körper, durch ein stetes Kombiniren der Theorie mit der Erfahrung: nur auf diesem Wege allein wird es dereinst gelingen können, auch die Photometrie ihrer Vollendung entgegenzuführen.

Die in neuerer Zeit im Gebiete der Photometrie angestellten Untersuchungen sind zu fragmentarisch, als dafs Bouguer's und Lambert's Verdienste dadurch hätten verdunkelt werden können. Wenn man die Versuche des Grafen Rumford über die Erleuchtungskraft unserer gewöhnlichen Flammen, und Brewster's und Herschel's Versuche über die Absorption der gefärbten Stralen ausnimmt: so ist seit Lambert wohl wenig mehr für die Förderung der Photometrie geschehen, als dafs man einige Instrumente, um die Verschiedenheit der Lichtstärken zu messen, ersonnen hat.

Das sogenannte Rumfordsche Photometer ist beinahe in derselben Einrichtung schon von Lambert angegeben worden.[1]) Eine vertikale Ebene (Fig. 73.) *FG* wird mit gleichmäfsig weifsem Papiere überzogen, und vor derselben auf einer horizontalen Ebene ein schmaler undurchsichtiger Gegenstand *C* aufgestellt. In *A* ist eine Flamme, die bei allen Versuchen als Maafs dient, und den Schatten *D* des Körpers *C* auf die vertikale Ebene wirft. In *B* ist eine zweite Flamme, durch welche von demselben Körper *C* ein zweiter

1) *Phot.*, pag. 29.

Schatten E entsteht, indem die Stralen mit möglichst gleicher Neigung unter fast rechten Winkeln auf die Ebene FG fallen. Der Schatten D wird von der Flamme B, der Schatten E von der Flamme A erleuchtet. Wird daher die Flamme B so lange entfernt oder genähert, bis beide Schatten sich gleich stark erleuchtet zeigen, und sind die Entfernungen $AD = a$, und $BE = b$: so wird die Lichtstärke von B durch den Quotienten $\frac{b^2}{a^2}$ angegeben werden. Die Schatten müssen, um die Gleichheit ihrer Erleuchtung desto sicherer beurtheilen zu können, zwar nahe an einander, jedoch so weit entfernt liegen, dafs ihre Halbschatten sich nicht vermischen. Dafs die Versuche ohne den Einflufs eines fremdartigen Lichtes anzustellen sind, bedarf keiner Erinnerung.

Mit etwas gröfserem Rechte führt das Ritchiesche Photometer den Namen des Erfinders, obgleich Bouguer schon ähnliche Vorrichtungen angegeben hatte. Eine inwendig geschwärzte Röhre hat an zwei gegenüber stehenden Seiten die Oeffnungen (Fig. 74.) A und B, in ihrem Inneren die aus demselben Glase geschnittenen, und unter Winkeln von 45° aufgestellten Spiegel FG und FH, und über denselben die durch einen schmalen undurchsichtigen Streifen in F getrennten durchsichtigen Flächen FC und FD, zu denen man gewöhnlich geöltes Papier nimmt. Vor den Oeffnungen werden die beiden Flammen L und K aufgestellt, deren Intensität man mit einander vergleichen will, und ihre Entfernungen von der Mitte der Röhre so lange geändert, bis ihre von den Spiegeln reflektirten Bilder auf den durchsichtigen Flächen eine gleiche Erleuchtung bewirken. Das Verhältnifs der Lichtstärken läfst

sich dann in derselben Weise, wie bei dem vorigen Instrumente, bestimmen.

Das von Lampadius angegebene Photometer beruht auf einem Principe, das gleichfalls schon von Bouguer in Anwendung gebracht war. Er stellte dünne durchsichtige Hornscheiben von gleicher Beschaffenheit und Dicke so lange hinter einander auf, bis jeder der leuchtenden Körper, deren Lichtstärke er mit einander vergleichen wollte, durch dieselben völlig verdunkelt war, und fand z. B., dafs zur gänzlichen Verdunkelung des Sonnenlichtes 80, des heiteren Himmels 60 bis 65, einer Talglichtflamme 36, und des im Sauerstoffgase brennenden Phosphors 98 Scheiben erfordert werden.[1])

Diese Photometer waren also, wenigstens ihrem Principe nach, schon von Bouguer und Lambert angegeben worden. Andere Instrumente der Art, die man seitdem erfunden hat, wie Wollaston's, Leslie's und Talbot's Photometer, oder Herschel's Actinometer sind in ihren Angaben unzuverlässiger, theils, weil sie nicht eine unmittelbare und gleichzeitige Vergleichung beider Lichter gestatten, theils auch, weil man mittelst derselben das Verhältnifs der Intensität der Stralen erst mittelbar, aus dem Einflusse der von ihnen erregten Wärme beurtheilen kann.

Da Wollaston zufällig bemerkt hatte, dafs ein Sonnenbild, welches von einer kleinen Kugel, z. B. von der eines Quecksilber-Thermometers zurückgeworfen, und durch ein Fernrohr in der erforderlichen Entfernung beobachtet wird, eine grofse Aehnlichkeit mit einem Fixsterne hat: so sah er hierin ein Mittel, die Lichtstärke der Sonne mit der eines Fixsternes ver-

1) Schweigger's Journal, Bd. XI., pag. 361.

gleichen zu können. Weil eine gleichzeitige Beobachtung des Sonnenbildes und des Sternes nicht möglich war, so entfernte er eine und dieselbe Kerzenflamme so weit von der reflektirenden Kugel, bis ihr Bild bei Tage dem der Sonne, und zur Nachtzeit dem Sterne gleich war, um auf diese Weise die Vergleichung zwischen den Lichtstärken beider Gestirne zu vermitteln. Das Bild der Kerze wurde mit dem einen Auge durch eine Linse von zwei Zoll Brennweite betrachtet, während das andere, durch ein Fernrohr bewaffnete Auge entweder auf das, von einer anderen Kugel reflektirte Sonnenbild, oder auf den Stern gerichtet war. Beide Kugeln wurden bei demselben Versuche immer von demselben Durchmesser, der gewöhnlich einen Viertelzoll betrug, genommen. Ist nun der Halbmesser der reflektirenden gläsernen Kugel $= r$, ihre Brennweite also $= \frac{r}{2}$: so ist der Halbmesser des Sonnenbildes $= \frac{r}{2} \mathit{tang}\, 16'$, und wenn sich das Auge in der Entfernung D von der Kugel befindet, der sichtbare Halbmesser dieses Bildes $= \frac{r \,\mathit{tang}\, 16'}{2D}$. Setzt man den sichtbaren Sonnenhalbmesser $= 1$, und die von der Sonne und ihrem Bilde ausgehende Lichtmenge der sichtbaren Gröfse beider proportional, so wird der Ausdruck $\frac{r^2}{4D^2}$ dem Lichte des Bildes entsprechen. Ist ferner, während das Auge immer in derselben Stellung gegen die Kugeln bleibt, das Bild der Kerze in der Entfernung d dem Sonnenbilde, und in der Entfernung δ dem Sterne gleich: so ist das Licht des Sternes $= \frac{r^2 d^2}{4D^2 \delta^2}$, wenn das der Sonne $= 1$ gesetzt wird. So

will **Wollaston** gefunden haben, dafs erst 20000 Millionen Sterne, wie der Sirius, eine eben so grofse Lichtmenge, wie die Sonne, auf der Erde verbreiten würden, wenn man annimmt, dafs die Hälfte der Stralen bei der Reflexion von den Kugeln verloren gehe. Man sieht indefs, wie wenig Zuverlässigkeit man diesem, in solcher Weise gefundenen Resultate beilegen dürfe.[1])

Leslie bediente sich eines sorgfältig gearbeiteten Differential-Thermometers zu photometrischen Versuchen. Die gleichen gläsernen Kugeln stehen bei der Einrichtung, die er diesem bekannten Instrumente gab, nicht, wie sonst gewöhnlich, in einer Entfernung von mehreren Zollen in gleicher Höhe neben einander, sondern es steht die eine, welche geschwärzt ist, in geringem Abstande über der anderen. Die Kugeln, mit einem Durchmesser von etwa 6 Pariser Linien, sind mit verdünnter Luft, die sie verbindende gläserne Röhre, $\frac{1}{10}$ Zoll weit, ist mit Schwefelsäure erfüllt, und der Nullpunkt der Scale durch die Höhe der Flüssigkeit bestimmt, wenn das Instrument, ohne stralender Wärme ausgesetzt zu sein, einige Zeit hindurch im Finstern gestanden hat. Da **Leslie** gefunden haben will, dafs die gleichzeitige Einwirkung einer Kerzenflamme auf beide Kugeln, — deren ungleiche Erwärmung einen verschiedenen Stand der Flüssigkeit in der Röhre zur Folge hat, — den Quadraten ihrer Entfernung umgekehrt proportional ist, und eine Lichtflamme, deren sichtbarer Durchmesser in einem Abstande von 4 Fufs von dem Auge eben so grofs war, wie der sichtbare Durchmesser der Sonne, in einer Entfernung von 2 Zoll die Flüssigkeit um 6 Grade steigen machte: so müfste sie hiernach durch eben

1) **Poggendorff's** Ann., Bd. 16., pag. 328.

diese Flamme, wenn sie in einem Abstande von 4 Fufs, also in einem 24mal gröfseren, als vorhin, aufgestellt wird, um $\frac{6}{24^2}=\frac{1}{96}$ Grad steigen. Durch das (in der Atmosphäre nicht geschwächte) Sonnenlicht würde sich aber der Stand der Flüssigkeit um 125 Grade ändern. Es ist demnach das Licht der Sonne $96 \cdot 125 = 12000$ mal intensiver, als das der Kerze.[1])

Ritchie hat dies Lesliesche Photometer verbessert. Statt der gläsernen Kugeln nimmt er niedrige, aber sehr weite Cylinder von Zinnblech, deren Höhe etwa 1 Zoll, und deren Durchmesser 10 bis 12 Zoll hat. Diese Cylinder sind an entgegengesetzten Seiten durch dünne, möglichst durchsichtige Gläser von gleicher Gröfse und kreisförmiger Gestalt luftdicht geschlossen, und in der Mitte ihrer Grundflächen, den Gläsern gegenüber, mit kreisförmigen Scheiben von schwarzem Papiere versehen. Fällt Licht von verschiedener Intensität und entgegengesetzten Seiten durch die Gläser auf die schwarzen Scheiben, so wird die Luft in den Cylindern verschieden erwärmt, und hierdurch die Flüssigkeit in der Röhre, welche die Cylinder verbindet, einen verschiedenen Stand erhalten. Um sich zu überzeugen, ob die das Licht modificirenden Bedingungen für beide Cylinder gleich sind, kann man jeden derselben gegen eine Flamme stellen, den Stand der Flüssigkeit bemerken, und hierauf die Cylinder, während ihre Entfernung von den Flammen dieselbe bleibt, gegen die letzteren vertauschen. Ist auch dann noch der

1) Kurzer Bericht von Versuchen und Instrumenten, die sich auf das Verhalten der Luft zur Wärme und Feuchtigkeit beziehen, von Leslie, übers. von Brandes. Leipzig, 1823.

Stand der Flüssigkeit ungeändert, so wird offenbar das Licht in beiden Cylindern durch die unvollkommene Durchsichtigkeit der Gläser, und durch die Absorption in den schwarzen Scheiben auf dieselbe Weise modificirt. Das Instrument beruht also auf dem Principe, dafs gleiche Volumina Luft durch gleiche Lichtmengen, die aufgefangen von schwarzen Ebenen Wärme erzeugen, gleich stark ausgedehnt werden. [1])

Herschel's Actinometer ist ein Thermometer, das zum Gefäfse einen gröfseren Cylinder, und eine Röhre mit einem sehr kleinen Durchmesser hat, um auch die geringsten Temperatur-Unterschiede bemerkbar zu machen. Das Gefäfs und die Röhre sind von farblosem Glase, und mit einer blauen Flüssigkeit erfüllt, damit die thermische Hälfte des Spektrums von derselben absorbirt werde, und die Erwärmung und Ausdehnung der Flüssigkeit aus ihrem Inneren erfolge. Um ihr in der Röhre auch bei höheren Temperaturen den erforderlichen Spielraum zu gestatten, ist in den gläsernen Cylinder ein kleinerer von Metall eingeschraubt, der höher und niedriger gestellt werden kann.

Talbot minderte das Licht einer weifsen Scheibe dadurch, dafs er aus derselben einen Sektor herausschnitt, und sie so in eine rotirende Bewegung gegen eine schwarze Fläche versetzte. Da das dadurch entstehende Grau der Scheibe um so dunkeler wird, je gröfser der ausgeschnittene Sektor ist, so folgert Talbot hieraus, dafs sich die Helligkeit der rotirenden ausgeschnittenen zu der Helligkeit der ganzen weissen Scheibe verhalte, wie die Winkelbreite des ausgeschnittenen Sektors zu dem Umfange der ganzen

1) *Philos. Trans.*, 1825., pag. 141.

Scheibe, wie dies auch durch **Plateau's** Versuche bestätigt worden ist.[1]) Betrachtet man durch den ausgeschnittenen Sektor der Scheibe eine Lichtflamme, und setzt dann die Scheibe in eine rotirende Bewegung, so wird sich also die so geschwächte Helligkeit der Flamme zu ihrer natürlichen, wie die Winkelbreite des ausgeschnittenen Sektors zu dem Umfange der Scheibe verhalten, und man sieht, wie auf diese Weise durch die verschiedenen Gröfsen der ausgeschnittenen Sektoren eine Vergleichung zwischen den natürlichen Helligkeiten zweier Flammen möglich wird.

Von den phosphorescirenden Körpern.

Neuere Beobachtungen über den Bononischen Stein — Kunkel's, Balduin's, Homberg's, Canton's, Marggraf's, Osann's und Heinrich's Phosphor — Die Phosphorescenz entsteht entweder, wenn eine Bestralung des Sonnen-, Kerzen- oder elektrischen Lichtes vorhergegangen ist, oder durch Erwärmung, oder von selbst bei vegetabilischen und animalischen Stoffen, oder durch Druck, Bruch und Reibung, oder endlich bei chemischen Verbindungen — Beispiele für eine jede dieser fünf Arten der Phosphorescenz.

Dafs einige Körper die Eigenschaft besitzen, im Dunkelen zu leuchten, ohne dafs ihr Licht von einer merklichen Wärmeentwickelung begleitet wird, ist eine zu oft wiederkehrende Erfahrung, als dafs ihrer die Schriftsteller des Alterthums nicht erwähnen sollten. **Aristoteles** nennt als solche Körper: den Schwamm, verwesendes Fleisch, und die Köpfe, Augen und Schup-

1) **Poggendorff's** Ann., Bd. 35., pag. 457.

pen einiger Fische.[1]) **Plinius** führt in dieser Beziehung die Bohrmuschel (*pholas dactylus*)[2]) an, und unter den Steinen den *Carbunculus*,[3]) *Chrysolampis* und *Selenites*.[4])

Eine gröfsere Aufmerksamkeit widmete man den **phosphorescirenden** Körpern erst nach der Entdeckung des **Bononischen Leuchtsteines** (Lichtsaugers), eines mit Thonerde vermischten Schwerspaths, den **La Galla** zuerst in seinem im Jahre 1612. erschienenen Werke „*De phaenomenis in orbe lunae*" beschreibt,[5]) und von dem **Kircher** sagt, dafs er die Eigenschaft des Leuchtens in einem höheren Grade

1) *Περὶ ψυχῆς*, lib. II, cap. 7. Unter dem Schwamme (*μύκης*) dürfte man faulendes Holz zu verstehen haben, auf welchem er bekanntlich leicht entsteht.

2) *Hist. nat.*, lib. IX, cap. 61. Ihren Namen hat diese Muschel von dem fingerförmigen Cylinder, in welchem sich ihr Mund befindet. Sie bohrt sich in Felsen und Korallenstämme ein, und findet sich häufig an den Küsten des mittelländischen Meeres.

3) *Ibid.*, lib. XXXVII, cap. 7.

4) *Ibid.*, lib. XXXVII, cap. 10.

5) Th. I, pag. 290. Dafs die Phosphorescenz des Bononischen Steines gleich im Anfange des siebzehnten Jahrhunderts entdeckt worden sei, geht auch aus der Schrift „*Lapis Bononiensis in obscuro lucens, collatus cum Phosphoro Hermetico* ***Balduini***, *a* ***Christiano Mentzelio***" hervor, die man in dem: *Appendix ad annum quartum et quintum Ephemeridum medico-physicarum naturae curiosorum in Germania. Francof. et Lipsiae*, 1688. findet. Es heifst hier, pag. 175.: *Bononiensis terra produxit hunc lapidem luciferum ante annos circiter septuaginta, dum haec scribo. Anno enim* 1604. *quidam civis Bononiensis, nomine* ***Vincentius Casciorolus***, *chemiae deditus, ad chrysopoeiam a sutrina translatus, cum inveniret lapidem hunc sulphure ponderoso praegnantem, solarem vocavit, eumque aptum ad chrysopoeiam judicavit*.... Wie wenig genau man es damals mit den Namen genommen habe, zeigt nicht blofs die Geschichte der Entdeckung der Fernröhre, sondern auch die des Bononischen Steines. Denn der Schuhmacher, der ihn fand, heifst bald **Cascariolo**, bald, wie hier, **Casciorolo**, bald **Casciarolo**.

erhalte, wenn man ihn zu Pulver reibt, mit Wasser und Eiweifs durchknetet, und in einem Ofen kalcinirt. [1])

Im Anfange des achtzehnten Jahrhunderts stellten der Graf Marsigli, Beccari und Galeati in Bologna gemeinschaftliche Beobachtungen über die Bononischen Steine an, und fanden, dafs dieselben, wenn sie zwei Minuten hindurch in das Licht einer Kerze gebracht waren, zwar schwächer leuchteten, als wenn sie den Sonnenstralen ausgesetzt gewesen waren, dafs aber nichtsdestoweniger dies schwache Leuchten wohl zehn Minuten hindurch wahrgenommen werden konnte. Durch das Licht des Vollmondes aber, selbst wenn es durch eine Linse koncentrirt war, gelang es nie, die Steine zur Phosphorescenz zu bringen. [2]) Als Galeati die Stralen der Sonne auch auf Steine fallen liefs, die sich in dem luftleeren Recipienten einer Luftpumpe befanden, war ihr Leuchten zwar weniger lebhaft, als wenn sie im lufterfüllten Raume den Sonnenstralen ausgesetzt wurden; doch bemerkte er in beiden Fällen keinen Unterschied in der Dauer der Phosphorescenz. [3])

Um das Jahr 1718. wiederholte Zanotti in Bologna die Beobachtungen über den Leuchtstein besonders in der Absicht, um die Frage, ob das Licht ein materieller Stoff, oder vielmehr nur eine den Aether in eine schwingende Bewegung versetzende Energie

1) Heinrich („Ueber die Phosphorescenz der Körper", pag. 53.) erhielt noch bessere Leuchtsteine, wenn er den zu gröblichem Pulver zerstofsenen, und mit Eiweifs zu dünnen Pasten geformten Schwerspath zwei Stunden hindurch in glühende Kohlen brachte.

2) *De Bononiensi scientiarum academia commentarii. Bononiae*, 1731. tom. I, pag. 190.

3) *Ibid.*, pag. 196.

sei, vielleicht auf diesem Wege entscheiden zu können. Würden die Steine, wenn er sie nicht in das freie Sonnenlicht, sondern in verschiedene Farben des Spektrums brächte, nicht, wie gewöhnlich, eine röthliche, sondern die Farbe zeigen, in welche sie gehalten waren: so glaubte er hieraus folgern zu können, dafs das Licht von den Leuchtsteinen eingesogen werde, und dafs es eben deshalb etwas Materielles sein müsse. Es gelang ihm jedoch nicht, einen merklichen Unterschied in der Farbe des schwachen Leuchtens wahrzunehmen, wenn er einen Stein in die rothe, und gleichzeitig einen andern in die blaue Farbe des Spektrums gebracht hatte. [1])

So wie der Bononische Stein, so wurden noch zwei andere Phosphore, der Kunkelsche und Balduinsche, in der Mitte des siebzehnten Jahrhunderts durch das eitele Bemühen entdeckt, den „Stein der Weisen" finden zu wollen, mit dessen Hilfe man schlechtere Metalle in Gold verwandeln, und sich überhaupt in den ungetrübten Genufs aller Lebensfreuden versetzen zu können hoffte. In dem Urine der Menschen wollte Kunkel, der sich im Auftrage des Kurfürsten von Sachsen mit der Alchymie beschäftigte, nach vielen anderen mifslungenen Versuchen endlich ein Mittel gefunden haben, das Gold in seine Bestandtheile auflösen, und andere werthlose Metalle in dies edele verwandeln zu können.

Auf das Gerücht von dieser vermeintlichen Entdeckung war ein gewisser Brandt, Bürger in Hamburg, mehrere Jahre hindurch bemüht, das Geheimnifs Kunkel's, den Stein der Weisen wiederzufinden. Er

1) *De Bononiensi scientiarum academia commentarii. Bononiae*, 1731., tom. I, pag. 204.

entdeckte zwar nicht, was er suchte, wohl aber im Jahre 1677. den bekannten, nicht nach seinem, sondern mit Unrecht nach Kunkel's Namen genannten Phosphor. Auf die Nachricht von Brandt's Entdeckung forderte nämlich Kunkel seinen, in Dresden wohnenden Freund Kraft auf, mit ihm gemeinschaftlich in Hamburg das Geheimnifs suchen zu wollen. Kraft kam auch nach Hamburg, aber heimlich, um sich von Brandt für den Preis von 200 Reichsthalern mit der Bereitungsweise des Phosphors unter der Bedingung bekannt machen zu lassen, dafs Kunkel nie in das Geheimnifs eingeweiht werden sollte. Als dieser die Treulosigkeit Kraft's erfuhr, kehrte er nach Wittenberg zurück, wo er so unermüdet die Bestandtheile des Urins zu ermitteln bemüht war, dafs er selbst den von Brandt bereiteten Phosphor wiederfand.

Zum dritten Male wurde dieser Phosphor von Boyle entdeckt, nachdem er ein kleines Stück desselben gesehen hatte, welches Kraft im Jahre 1679. nach London brachte, um es dem Könige zu zeigen. Da Boyle nur gehört hatte, dafs der Phosphor aus einem Stoffe, der dem menschlichen Körper entnommen sei, bereitet werden könne: so mufste er viele vergebliche Versuche machen, ehe es ihm endlich gelang, eine geringe Quantität jenes Phosphors zu erhalten. [1])

Den Kunkelschen Phosphor bereitet man jetzt bekanntlich am reichlichsten aus den Knochen, die aus kohlensaurer und phosphorsaurer Kalkerde bestehen.

1) *Mém. de l'acad. de Paris*, 1737. pag. 342. *Acta erudit. Lips.*, 1682., pag. 53. Bei Kunkel heifst dieser Phosphor „*Phosphorus fulgurans*“ oder „*Lumen constans*“; bei Boyle „*Noctiluca aërea*“; bei Hooke „*Phosphorus elementarius*“; bei Leibnitz „*Phosphorus igneus* oder *Pyropus*“.

Man brennt dieselben, bis sie weifs geworden sind, um ihre flüchtigen Bestandtheile zu entfernen, und übergiefst sie dann mit stark verdünnter Schwefelsäure (auf 3 Theile Knochen 30 Theile Wasser, und 2 Theile koncentrirte Säure). Die Schwefelsäure verbindet sich vermöge gröfserer Affinität mit der ganzen Menge Kalkerde, die mit der Kohlensäure, und mit einem Theile der Kalkerde, die mit der Phosphorsäure verbunden war, und es entsteht dadurch saure phosphorsaure Kalkerde. Durch Filtration trennt man dieselbe von der unlöslichen schwefelsauren Kalkerde, kocht sie hierauf in einem eisernen Kessel bis zur Syrupsdicke ein, setzt nach und nach so viel Kohle hinzu, bis ihr Gewicht den vierten Theil des Gewichts der Knochen beträgt, und erhitzt das Gemenge bis zur Rothglühhitze. Man bringt es alsdann in eine steinerne, in einen Windofen gestellte Retorte, macht die Feuerung allmählig stärker, und läfst den gasförmig aufsteigenden Phosphor durch ein kupfernes Rohr in ein mit kaltem Wasser gefülltes Gefäfs übergehen, wo er sich zu einer festen Masse verdichtet. Damit die Kohlensäure, welche sich durch die Verbindung der Kohle mit dem Sauerstoffe der Phosphorsäure bildet, entweichen könne, ist durch den luftdicht geschlossenen Hals des Gefäfses ein Rohr geleitet, dessen untere Oeffnung über dem Wasser liegt.[1])

Der Kunkelsche Phosphor gehört aber eigentlich nicht zu den sogenannten Lichtsaugern, da sein Leuchten durch seine Verbindung mit dem Sauerstoffe der atmosphärischen Luft entsteht, also ein schwächeres Brennen ist. Dies Leuchten tritt nach Heinrich's Versuchen in atmosphärischer Luft schon bei $+2^0$ *R.*

1) Mitscherlich's „Lehrbuch der Chemie". Berlin, 1831. Th. I, pag. 51.

ein, während das lebhaftere Verbrennen in atmosphärischer Luft erst bei 30°, und im Sauerstoffgase bei 18° erfolgt. Ueber die merkwürdige Beobachtung Göttling's, dafs der Phosphor auch in anscheinend reinem Stickstoffgase leuchte, die von Böckmann bestätigt ist,[1]) hat man durch Bellani's Entdeckung, dafs der Phosphor im verdünnten Sauerstoffgase bei einer niedrigeren Temperatur leuchte, als im verdichteten, einen befriedigenden Aufschlufs erhalten, indem es hiernach nicht zweifelhaft sein kann, dafs das Leuchten des Phosphors im Stickstoffgase durch das verdünnte Sauerstoffgas, welches demselben beigemengt war, veranlafst wurde.

Der im Jahre 1675. von Balduin, Amtmann in Grofsenhain, entdeckte Phosphor (*phosphorus hermeticus*) gehört dagegen zu den Lichtsaugern. Balduin löste zerstofsene Steinkreide in Salpetersäure auf, destillirte die Auflösung, und fand, dafs der in der Retorte gebliebene Rückstand, wenn er dem Lichte ausgesetzt gewesen war, gleich dem Bononischen Steine im Dunkelen leuchtete. Den Lateinischen Namen gab er diesem Phosphor deshalb, weil er zwar in der freien Luft sehr bald das Vermögen zu phosphoresciren verliert, nicht aber in hermetisch geschlossenen Glasröhren.[2])

Dies waren die bis zum Anfange des achtzehnten

1) Versuche über das Verhalten des Phosphors in verschiedenen Gasarten. Erlangen, 1800.

2) *Balduini* „*Aurum superius et inferius aurae superioris et inferioris hermeticum*, *et phosphorus hermeticus sive magnes luminaris*“. *Francof. et Lips.* 1675. Heinrich findet es zweckmäfsiger, die in Salpetersäure aufgelöste Steinkreide zu filtriren, den Rückstand zu trocknen, ihn zerstofsen mit Eiweifs zu Pasten zu formen, und diese Pasten eine Stunde hindurch zwischen lebhaft glühenden Kohlen zu brennen.

Jahrhunderts bekannten Lichtsauger, als der Dr. Wall im Jahre 1708. fand,[1]) dafs auch die meisten Diamanten, und zwar ohne künstliche Zubereitung, zu denselben zu rechnen sind. Homberg fügte ihnen um eben diese Zeit den nach seinem Namen benannten Phosphor hinzu,[2]) und Du Fay entdeckte bald hernach, dafs auch der Gips, Kalkstein, Marmor und Topas, wenn man sie in Säuren auflöst und kalcinirt, in Leuchtsteine verwandelt werden können.[3])

Eine Menge hierher gehöriger Versuche stellte in der Mitte des vorigen Jahrhunderts der schon oben genannte Beccari in Bologna an. Um sein Auge durch anhaltende Finsternifs selbst für eine schwächere Phosphorescenz empfänglich zu machen, und die Körper unmittelbar nach ihrer Bestralung durch das Sonnen- oder Tageslicht beobachten zu können, liefs er sich eine dunkele Kammer einrichten, die aufser der Thüre nur noch eine kleine, durch ein cylindrisches, um seine vertikale Achse drehbares Gefäfs verschlossene Oeffnung hatte. Auf den Boden dieses Cylinders, von dessen konvexer Oberfläche der sechste Theil der Länge nach ausgeschnitten war, wurden die zu beobachtenden Gegenstände gelegt, und durch ein blofses Umdrehen des Gefäfses dem Auge zugekehrt, wenn

1) *Philos. Trans. for.* 1708. und 1709., pag. 69.

2) *Mém. de l'acad. de Paris*, 1711., pag. 234. Es heifst hier: *Nous avons vu dans mon dernier Mémoire* (pag. 39.), *que parmi les opérations sur la matière fécale il s'en trouve de trois différentes sortes, où la tête morte a pris feu dans la cornue, sans y avoir approché du feu par dehors, pour l'allumer. La première étoit, quand on distilloit au bain de sable le sel essentiel de la matière fécale avec une chaleur assez forte, pour en tirer l'huile fétide; la seconde, quand on avoit mêlé l'alun de roche, et la troisième, du vitriol calciné avec la matière fécale.*

3) *Mém. de l'acad., de Paris*, 1730. pag. 524. und 1735. pag. 347.

sie durch den Einschnitt bestralt waren. **Beccari** überzeugte sich mittelst dieser bequemen Vorrichtung, dafs es wenige Körper giebt, denen nicht die Eigenschaft der Phosphorescenz, wenn auch in sehr verschiedenem Grade, beigelegt werden müfste, und dafs selbst trockenes Papier, besonders wenn es erwärmt ist, zu den guten Lichtsaugern zu rechnen sei.[1])

Zu den berühmteren, in der Mitte des vorigen Jahrhunderts entdeckten Leuchtsteinen gehört noch **Canton's** und **Marggraf's** Phosphor.

Nachdem **Canton** Austerschalen eine halbe Stunde hindurch in starkem Kohlenfeuer gebrannt, und die reinsten Stücke gepulvert hatte, mengte er drei Theile dieses Pulvers mit einem Theile Schwefelblumen, stampfte dies Gemenge fest in einen Schmelztiegel, und erhielt es in demselben eine Stunde hindurch rothglühend. Wurde dann die abgekühlte Masse an den glänzendsten Stellen abgeschabt, so gab dies Pulver einen Leuchtstein von vorzüglicher Güte, der selbst, wenn er ein Jahr hindurch in einem hermetisch geschlossenen gläsernen Gefäfse den Sonnenstralen ausgesetzt gewesen war, im Dunkelen eben so lebhaft leuchtete, wie ein anderer, welcher während derselben Zeit immer im Finstern gelegen hatte. Durch Feuchtigkeit aber wird die Leuchtkraft dieses Phosphors bald zerstört.[2])

Marggraf löste Schwerspathe, Austerschalen, Marmor und andere kohlensaure Kalkerden in Salpetersäure auf, und verdünnte die filtrirte Auflösung mit vier Theilen Wasser. Er setzte hierauf verdünnte

1) *De quamplurimis phosphoris, nunc primum detectis commentarius. Bononiae,* 1744. *De Bononiensi scientiarum acad. commentarii,* 1746. tom. II, pars 2., pag. 136.
2) *Philos. Trans. for* 1768., pag. 337.

Schwefelsäure (1 Theil Säure, 3 Theile Wasser) hinzu, auf einen Theil der Auflösung zwei Theile verdünnter Säure nehmend. Wurde dann der Niederschlag, der sich nach 24 Stunden gebildet hatte, wie der Bononische Phosphor behandelt, so erhielt Marggraf Lichtsauger, die dem Bononischen an Leuchtkraft beinahe gleichkamen. [1])

Zu diesen künstlichen Lichtsaugern sind in neuerer Zeit noch Osann's und Heinrich's Phosphor hinzugekommen, die an Leuchtkraft allen übrigen voranstehen.

Osann's Phosphor besteht theils aus arseniksaurem Baryt, der mit Tragant zu Pasten geformt, und im Kohlenfeuer geglüht wird, theils aus gebrannten Austerschalen, die mit rothem Schwefel-Arsenik (Realgar), oder mit Schwefel-Antimon eben so, wie Canton's Leuchtstein, behandelt werden. Die Phosphore der ersten Art leuchten, wie glühende Kohlen, die der anderen mit einem Lichte, welches die Farbe des brennenden Schwefels hat, und die der dritten Art mit einem besonders lebhaften, hellgrünen Lichte. [2])

Heinrich's Phosphor besteht aus gebranntem und gepulvertem weifsen Alabaster, der im Verhältnisse von 3:4 mit Sauerkleesalz gemengt, in einem Schmelztiegel zwischen Kohlen zwei Stunden hindurch einem mäfsigen Feuer ausgesetzt wird.

Die umfassendsten Beobachtungen über jede Art von phosphorescirenden Körpern wurden endlich im Anfange dieses Jahrhunderts von Placidus Heinrich, Doktor der Theologie in Regensburg, angestellt.

1) *Mém. de l'acad. de Berlin*, 1749. pag. 56. und 1750. pag. 144.
2) Kastner's „Archiv für die gesammte Naturlehre", Bd. IV, pag. 347. und Bd. V, pag. 88.

In seinem, von seltener Unverdrossenheit zeugenden Werke: „Ueber die Phosphorescenz der Körper“ [1]) unterscheidet er fünf Arten des phosphorescirenden Leuchtens: Phosphorescenz durch Bestralung von aussen (Insolation, Irradiation); durch Erwärmung von aufsen; von selbst entstehende Phosphorescenz bei Körpern aus dem Thier- und Pflanzenreiche; Phosphorescenz durch Druck, Bruch oder Reibung; endlich durch innere Temperatur-Erhöhung, wie bei chemischen Verbindungen, und führt für eine jede dieser fünf Arten eine grofse Menge von Beispielen an. So wie Beccari, hatte auch Heinrich sich eine dunkele Kammer einrichten lassen, in der sich aufser der Thüre nur noch eine kleine Oeffnung befand, durch welche die zu beobachtenden Gegenstände hineingereicht wurden. Sie war, damit durchaus kein Licht eindringen konnte, mit einem doppelten Vorhange von schwarzem Tuche versehen. Um das Auge stets in gleicher Finsternifs zu erhalten, hüllte Heinrich überdies seinen Kopf in einen doppelten Schleier von schwarzem Tuche, der bis über die Schultern hinabreichte.

Phosphorescenz durch Insolation.

Die mit einer Säure verbundenen Mineralien sind vorzüglich für diese Art der Phosphorescenz geeignet, deren Glanz und Farbe nach Verschiedenheit der Säure verschieden ist.

Die kohlensauren Kalkerden zeigen ein weifses, mehr oder weniger glänzendes Licht, das indefs nur Sekunden hindurch, jedoch länger dauert, als das des schwefelsauren Kalkes, wie des Gipses und Alabasters,

3) Nürnberg, 1811. 596 Seiten 4to.

das überdies nie glänzend ist. Ein kohlensaurer Strontianit leuchtete hellglänzend weifs 21 Sekunden, ein schwefelsaurer aber nur matt 5 Sekunden hindurch. Auch die phosphorsauren Kalkerden, wie die Knochen, sind für diese Art der Phosphorescenz weniger empfänglich.

Ganz besonders aber zeichnet sich in Hinsicht auf die Dauer des Leuchtens der Flufsspath, und namentlich der grüne aus. Nur einige Sekunden an das Sonnen- oder Tageslicht gehalten, leuchtet er Minuten hindurch, obgleich nicht mit einem sehr glänzenden Lichte. [1]) Am längsten dauert die Phosphorescenz des Sibirischen violetten Flufsspaths, den man Pyrosmaragd oder Chlorophan nennt. Hat man ihn etwa einen Monat hindurch in vollkommener Finsternifs liegen lassen, und setzt ihn dann einige Minuten dem Sonnen- oder Kerzenlichte aus: so erhält er dadurch das Vermögen, mehrere Tage, ja selbst Wochen hindurch zu phosphoresciren, und es reicht die natürliche Wärme der Hand hin, ihm dasselbe wiederzugeben, wenn er es nach Verlauf dieser Zeit verlor. In der Hitze wird er smaragdgrün, beim Erkalten aber erhält er seine natürliche violette Farbe wieder. [2])

Zu den durch Insolation phosphorescirenden Mineralien gehören noch die verschiedenen Arten des Schwerspaths, deren Leuchten indefs nur 12 bis 15 Sekunden dauert, und deren Licht zwar glänzender, als

1) Der „*Phosphorus Smaragdinus*", der „*Émeraude brute*", der im Jahre 1724. von Bourguet der Akademie von Paris übersandte „*Phosphore de Berne*", deren Du Fay in den *Mém. de l'acad. de Paris*, 1735. pag. 347. sqq. erwähnt, sind wahrscheinlich nur verschiedene Arten des grünen Flufsspaths.

2) v. Grotthufs in Schweigger's Journal, Bd. XIV, pag. 133.

das des Flufsspaths, aber nicht so glänzend, wie das der kohlensauren Kalkerden ist.

Reine Kiesel-, Thon- und Talk-Erden zeigen sich durch Insolation nicht phosphorescirend.

Die Beobachtung Du Fay's, dafs einigen Diamanten, die nur aus Kohlenstoff bestehen, wenn sie rein sind, die Eigenschaft des Leuchtens fehle, ohne dafs sie sich äufserlich von den phosphorescirenden unterscheiden, und dafs diese letzteren unter dem Wasser eben so lebhaft und eben so lange, wie in der Luft leuchten, fand auch Heinrich bestätigt. Bei einigen dauerte dies Leuchten Stunden hindurch, während es bei anderen gänzlich ausblieb. Auch nach der Bestralung durch elektrisches Licht, oder durch das einer Kerze phosphorescirten die Diamanten; das Licht des Mondes aber blieb ohne alle Wirkung. Als Heinrich, so wie dies Zanotti mit dem Bononischen Steine gemacht hatte, auch einige Diamanten in die farbigen, durch eine Linse koncentrirten Stralen des Spektrums brachte, fand er, dafs derselbe Stein, der in das blaue Licht gehalten, 15 Minuten leuchtete, völlig dunkel blieb, wenn er im rothen Lichte eben so lange, wie im blauen gewesen war. Im Wasserstoffgase, im kohlensauren und Salpeter-Gase (aus Kupfer und verdünnter Salpetersäure) erfolgte das Leuchten eben so, wie in der atmosphärischen Luft, und blieb auch unter dem Recipienten einer Luftpumpe nicht aus.

Die natürlichen Salze, der Salpeter, Alaun u. s. w. verhalten sich in Rücksicht auf die Phosphorescenz durch Insolation, wie die Kalkerden. Ihr Leuchten dauert bis 30 Sekunden, besonders schön und hell aber ist das Licht des Polnischen weifsen Steinsalzes.

Die brennbaren Mineralien werden, wenn man den Diamant und Bernstein ausnimmt, durch Insolation

eben so wenig phosphorescirend, wie die regulinischen Metalle. Die Metall-Salze leuchten ziemlich gut, die künstlichen Metall-Oxyde sehr schwach, die natürlichen etwas besser.

Das Pflanzenreich hat nicht viele Phosphore dieser Art. Die gebleichten Stoffe zeigen sich im Allgemeinen besser phosphorescirend, als die ungebleichten. Das weifse Schreibpapier ist der beste Phosphor durch Insolation aus dem Pflanzenreiche.

Als Resultat aus allen, über diese Art der Phosphorescenz von Heinrich angestellten Beobachtungen ergab es sich, dafs es unnöthig, ja oft schädlich ist, die Körper länger, als 8 bis 10 Sekunden dem Lichte auszusetzen; dafs dieses das Sonnen-, Tages-, Kerzen- oder elektrische [1]), nicht aber das Mondeslicht sein dürfe, das selbst koncentrirt wirkungslos bleibt; dafs die Dauer des Leuchtens nicht von der Lebhaftigkeit desselben abhängt, indem die glänzendsten Phosphore aus dem kohlensauren Kalkgeschlechte höchstens 40 Sekunden, die mit ruhigem Lichte phosphorescirenden Flufsspathe aber wohl 50 Minuten (oder, wie der Chlorophan, mehrere Tage hindurch) leuchten; dafs es nicht blofs bei den Diamanten, sondern auch bei allen übrigen Körpern vornehmlich die violetten, blauen

1) Heinrich bediente sich bei seinen Versuchen einer Verstärkungsflasche mit einer Oberfläche von 160 Quadratzoll, die zwei messingene, einen halben Zoll von einander abstehende Kugeln hatte, von denen die eine mit der inneren, die andere mit der äufseren Belegung in leitender Verbindung stand, so dafs die Entladung der Flasche immer bei derselben elektrischen Spannung von selbst erfolgte. Die zu prüfenden Gegenstände wurden zwischen beiden Kugeln auf eine Harzfläche gelegt, und der Funke zweimal durch dieselben durchgeleitet. Der Bononische Stein, Canton's Lichtsauger und Heinrich's Sauerkleesalz-Phosphor, durch elektrisches Licht bestralt, zeigen eine besonders lebhafte Phosphorescenz.

und grünen Stralen sind, durch welche die Phosphorescenz durch Bestralung bewirkt wird; dafs polirte oder sehr durchsichtige Gegenstände, wie z. B. Glas, nach der Insolation viel schwächer phosphoresciren, als unpolirte; dafs diese Phosphorescenz durchs Wegwischen nicht vernichtet werden kann, sondern sich die besseren Phosphore vielmehr auch in ihrem Inneren leuchtend zeigen; dafs endlich dies Leuchten besonders bei Körpern vorkommt, die aus einer säurungsfähigen Basis und einer Säure bestehen.

Da die Farbe des Leuchtens mit der des Lichtes, welchem die Phosphore ausgesetzt wurden, nicht übereinstimmt: so folgert Heinrich hieraus, dafs man die Ursache dieser Art der Phosphorescenz nicht in einem Reflektiren und Zurückgeben des empfangenen Lichtes suchen dürfe. Noch unpassender scheint es ihm zu sein, das Leuchten für ein schwaches Verbrennen halten zu wollen, weil gerade die unverbrennlichsten Körper die besten Phosphore durch Insolation sind. Heinrich sieht es vielmehr als ein Naturgesetz an, dafs jedesmal, wenn Licht entsteht, Sauerstoff gebunden, und umgekehrt, wenn Sauerstoff frei wird, Licht gebunden werde, so dafs der Sauerstoff der Atmosphäre nicht etwa blofs dadurch ersetzt wird, dafs die Pflanzen und Bäume die in derselben enthaltene Kohlensäure zersetzen, den Kohlenstoff aufnehmen, und den Sauerstoff frei machen, sondern viel mehr dadurch, dafs die irdischen Gegenstände das auf sie fallende Licht sich inkorporiren, und der in ihnen enthaltene Sauerstoff auf diese Weise frei wird. Er ist daher um so mehr geneigt, die Phosphorescenz durch Insolation für einen Entsäurungs-Procefs zu halten, da die Gegenwart einer Säure zum Entstehen eines lebhaften Leuchtens nothwendig zu sein scheint.

Indem nämlich durch das auffallende Licht der Sauerstoff aus den Körpern entweicht, und dieser frei gewordene Sauerstoff etwas von dem Lichte, das sich als Bestandtheil in den Körpern befindet, mechanisch mit sich fortnimmt, entstehe auf diese Weise das Leuchten, da der einmal begonnene Entsäurungs-Procefs einige Zeit hindurch fortdauert.

Phosphorescenz durch Erwärmung.

Dafs die Phosphorescenz auch nach blofser Erwärmung erfolgen könne, wurde von Du Fay zuerst an einigen Mineralien bemerkt.[1]) Lavoisier, Macquer und Wedgewood reiheten ihnen noch andere an, deren Zahl aber gegen die grofse Menge derer, welche Heinrich in Absicht auf die Lebhaftigkeit, Dauer und Farbe dieser Art der Phosphorescenz beobachtete, sehr gering ist.

Heinrich bediente sich, um die Körper zu erwärmen, nicht eines Eisenbleches oder irdener Gefäfse, sondern einer aus Kupfer gehämmerten Schale, weil dies Metall sich leichter reinigen läfst, als Eisen, und gleichmäfsiger erwärmt wird, als irdene Gefäfse. Waren die Substanzen gepulvert, so wurden sie gewöhnlich erst in der oben beschriebenen Kammer auf das nicht mehr glühende Kupfer gestreut, gröfsere Stücke aber auch schon in die Schale gelegt, während sie noch über den glühenden Kohlen stand.

Der beste Phosphor durch Erwärmung ist wieder der Flufsspath, und zwar vorzüglich der grüne, wenn er in gröfseren Stücken genommen wird. Er leuchtet nicht blofs an der Oberfläche, sondern auch in seinem Inneren, so dafs man bei einigen Arten, wie bei dem

1) *Mém. de l'acad. de Paris*, 1735. pag. 347. sqq.

Chlorophan, die Struktur erkennen kann. Die Dauer des Leuchtens ist bei kleineren Stücken kürzer, als bei gröſseren, und beträgt bei den letzteren zuweilen mehr, als eine Viertelstunde.

Die schwefel-, kohlen- und phosphorsauren Kalkerden sind weniger gute Phosphore dieser Art, ja sie verlieren, so wie auch die Schwerspathe, durch wiederholtes starkes Glühen das Vermögen, leuchten zu können.

Unter den von Heinrich beobachteten Diamanten konnten einige, wie schon oben bemerkt wurde, durch Insolation nicht zur Phosphorescenz gebracht werden; eben diese Diamanten leuchteten aber ohne Ausnahme durch Erwärmung. Nach diesen zeigten die Orientalischen Granaten, der Topas, Amethyst und Smaragd die schönste Phosphorescenz.

Die künstlichen Phosphore leuchten auch durch Erwärmung, aber nicht so lebhaft, wie durch Insolation.

Bei den Metallen bemerkt man drei Arten des Leuchtens, ein augenblickliches helles Funkeln, wenn sie gepulvert auf heiſses, aber nicht mehr glühendes Kupfer gestreut werden; ein mehrere Sekunden anhaltendes ruhiges Leuchten bei den meisten natürlichen Metall-Oxyden; ein schwaches Verbrennen bei den Schwefel-Metallen. Künstliche Metall-Oxyde phosphoresciren nicht durch Erwärmung.

Unter den verbrennlichen Mineralien leuchten besonders der Graphit und Bernstein um so länger, je gröſser man die Stücke nimmt.

Seiner Ansicht über die Natur des Lichtes getreu, erklärt Heinrich diese Art der Phosphorescenz durch eine von der Wärme bewirkte Zersetzung der Körper, und ein dadurch veranlaſstes Freiwerden des materiellen Lichtes.

Von selbst entstehende Phosphorescenz bei Körpern aus dem Pflanzen- und Thierreiche.

Frühere Beobachtungen über diese Art der Phosphorescenz wurden von **Boyle** und **Beccari** gemacht, und betrafen hauptsächlich das Leuchten der Bohrmuschel, und das des faulenden Holzes.

Heinrich fand, dafs zwar alle Arten des inländischen hochstämmigen Holzes, wenn seine Fäulnifs begonnen hat, im Dunkelen leuchten, dafs dies aber besonders bei der Erle, Weide, Tanne und Föhre (*pinus silvestris*) der Fall ist. Durch mäfsige Feuchtigkeit kann die Phosphorescenz des Holzes befördert, durch übermäfsige Nässe aber, und dadurch, dafs es Jahre hindurch im Dunkelen bleibt, unterdrückt werden, wie man dies an dem Grubenholze sieht, welches sich fast nie in dem Zustande der Phosphorescenz befindet. [1])

Wird phosphorescirendes Holz in Flüssigkeiten getaucht, so hört nach **Heinrich's** Versuchen das Leuchten nicht sogleich auf, sondern es dauert vielmehr unter Wasser 24 Stunden, unter Olivenöl 12, und unter Leinöl 6 Stunden, unter Alkohol 25 bis 30 Minuten, und unter Schwefel-Aether 10 Minuten. Gut leuchtendes Holz erlosch in Schwefeläure nach wenigen Sekunden, in anderen Säuren aber dauerte die Phosphorescenz längere Zeit, in kohlensaurem Wasser eine Stunde.

Die Beobachtung **Boyle's**, dafs leuchtendes Holz unter dem Recipienten einer Luftpumpe erlösche, be-

1) **Alexander v. Humboldt** „Ueber die chemische Zerlegung des Luftkreises". Braunschweig, 1799., pag. 230.

stätigte sich nicht bei Heinrich's Versuchen, sondern es war selbst die Lebhaftigkeit des Leuchtens von der in der atmosphärischen Luft nicht merklich verschieden. Im Sauerstoffgase zeigte sich die Phosphorescenz nicht viel stärker, als in atmosphärischer Luft, im Stickstoffgase dauerte sie 12 bis 14 Stunden, im salpeter-, flufs- und kohlensauren Gase nur wenige Minuten, und noch kürzere Zeit im Schwefelwasserstoffgase. Dafs man dessenungeachtet diese Art des Leuchtens für ein schwaches Verbrennen halten müsse, folgert Heinrich daraus, dafs die in einem unathembaren Gase schon erlöschende Phosphorescenz von neuem beginnt, wenn man athembares hinzutreten läfst.

Zuweilen bemerkt man auch ein anhaltendes Leuchten bei noch vegetirenden Pflanzen, wie dies unter anderen Gilbert bei einer Moosart, und einer kleinen Pflanze in einer feuchten Höhle des Harzgebirges beobachtet hat.[1]) Ein augenblickliches blitzendes Licht hat man des Nachts bei mehreren Blumen, namentlich bei der indianischen Kresse (*tropaeolum majus*), der Ringelblume (*calendula officinalis*), der feuergelben Lilie (*lilium bulbiferum*), der Sammtrose (*tagetes erecta* und *tagetes patula*) und der Sonnenblume (*helianthus annuus*) bemerkt.[2])

Dafs auch einige lebende Thiere ein anhaltendes phosphorescirendes Licht um sich her verbreiten, ist bekannt. Das Leuchten des Meeres wird hierdurch veranlafst, indem sich in demselben eine Menge kleiner Thiere befindet, von denen einige, wie die Medu-

1) Ann., Bd. 30., pag. 242.

2) Kästner's „Deutsche Uebersetzung der Abhandlungen der Schwedischen Akademie", vom Jahre 1762., pag. 291., und vom Jahre 1788., pag. 59.

sen und Seefedern (*pennatula phosphorea*), mit so intensivem Lichte leuchten, dafs Spallanzani die ersteren in der Meerenge von Messina selbst in einer Tiefe von 35 Fufs noch leuchtend fand. Gewöhnlich zeigt sich dies Licht wegen der Kleinheit der Thiere in einzelnen Funken; schnell segelnde Schiffe aber lassen längs ihres Weges einen zusammenhängenden Lichtstreifen zurück.

Unter den Muscheln ist es besonders die Bohrmuschel, die sich, sie mag todt oder lebend sein, durch ihre Phosphorescenz auszeichnet. Die leuchtende Substanz ist ein klebriger Saft, der sich aus dem Thiere auspressen, und einigen Flüssigkeiten, namentlich der Milch mittheilen läfst. Getrocknete Pholaden leuchten nicht, durchs Befeuchten mit lauwarmem Wasser kann man aber ihre Phosphorescenz wieder herstellen.

Alle Seefische phosphoresciren, wenn sie todt sind und feucht erhalten werden, und zwar an den Augen und dem Kopfe zuerst; lebende aber leuchten nicht. Die Phosphorescenz nimmt jedoch mit der Fäulnifs nicht zu, sondern hört vielmehr auf, sobald dieselbe bis zu einem gewissen Grade vorgeschritten ist. Durch eine gesättigte Kochsalzauflösung kann man das Leuchten zerstören; es wird aber wieder hergestellt, wenn man die Auflösung mit Wasser verdünnt.

Unter den lebenden Landthieren zeigen die stärkste Phosphorescenz der Surinamsche Laternenträger (*fulgora laternaria*), die Europäische Feuerassel (*scolopendra electrica*), und der Leuchtkäfer (Feuerwurm, Johanniswürmchen, *lampyris splendidula* und *lampyris noctiluca*).

Dafs auch menschliche Leichname, und das verwesende Fleisch vierfüfsiger Thiere unter geeigneten

Umständen phosphoresciren, wird durch das Zeugnifs glaubwürdiger Beobachter verbürgt.[1])

Da dies animalische Leuchten sich in den unathembaren Gasen bald verliert, durch den Zutritt athembarer Luft aber wieder hergestellt werden kann: so ist Heinrich der Meinung, dafs alles Leuchten dieser Art durch eine Oxydation des thierischen Phosphors bewirkt werden dürfte.

Phosphorescenz durch Druck, Bruch oder Reibung.

Dafs die atmosphärische Luft leuchte, wenn sie plötzlich und stark komprimirt wird, zeigen die pneumatischen Feuerzeuge. Dasselbe bemerkt man auch bei allen übrigen Gasarten, sie mögen athembar sein, oder nicht.

Die stark komprimirte atmosphärische Luft (und wahrscheinlich eine jede andere Gasart) leuchtet aber auch, wenn man ihr nur durch eine kleine Oeffnung einen Ausweg gestattet, wie man dies bei Windbüchsen mit engem Laufe sieht. Denn auch hier erleidet die Luft bei dem Ausströmen aus der engen Oeffnung eine Kompression.

Das Licht, welches De Parcieux bemerkte, wenn er mit Luft gefüllte Glaskugeln unter dem Recipienten einer Luftpumpe im Dunkelen zerspringen liefs,[2]) ferner das der gläsernen Knallbomben, wenn man sie im Finstern durch den Fall auf den Fufsboden platzen läfst, welches v. Helvig beschreibt,[3]) und das der Glastropfen (*lacrymae Batavae*), das Heinrich oft

1) Priestley's Gesch. der Optik, pag. 407.
2) Gren's Journal der Physik, Bd. VIII, pag. 18.
3) Gilbert's Ann., Bd. 51., pag. 112.

beobachtete, hängt offenbar mit jenem Windbüchsenlichte zusammen.

Besonders merkwürdig aber ist das Leuchten des luftreinen Wassers, und anderer luftreinen Flüssigkeiten, wenn man sie einem plötzlichen starken Drucke aussetzt. Dessaignes, der dies zuerst bemerkte, bediente sich hierzu einer Röhre von Krystall, die 244 Millimeter lang, 14 dick war, und deren Durchmesser im Lichten 9 Millimeter hatte. Wurde diese Röhre an beiden Seiten wasser- und luftdicht geschlossen, und auf den beweglichen Kolben der einen Seite mit einem schweren Hammer ein starker Schlag geführt, so zeigte sich im Dunkelen, wenn der Apparat vollkommen schlofs, ein augenblickliches gelbes und sehr intensives Leuchten des Wassers, das in der von dem Kolben entferntesten Gegend am hellsten war.[1]) — Eine Zurückführung dieser Lichterscheinung auf jene bei komprimirter Luft wird dadurch möglich, dafs gegenwärtig die Elasticität des Wassers und aller anderen Flüssigkeiten aufser Zweifel gesetzt ist.

Dafs unter den festen Körpern die sogenannten Knallsalze leuchten, wenn man sie einem starken Schlage aussetzt, ist bekannt. Dessaignes beobachtete dasselbe aber auch bei Schwefelblumen, Salpeter und Bernstein, und Heinrich bei Pulvern der Kalk-, Kiesel- und Thon-Erden.

Beim Zerbrechen und Spalten leuchten im Dunkelen auch alle Substanzen, die sehr spröde sind, ein krystallinisches Gefüge haben, und regelmäfsige Bruchstücke geben. Namentlich hat man dies bei dem Melis- und Candis-Zucker, bei dem Achat und Orientalischen Jaspis beobachtet. Auch hat man zuweilen

1) Schweigger's Journal, Bd. VIII, pag. 115.

das Anschiefsen einiger Krystalle von einer Lichtentwickelung begleitet gesehen.

Das bekannteste Beispiel für eine durch Reibung entstehende Phosphorescenz ist die der Barometer, welche Picard zuerst im Jahre 1675. bemerkte.

Da trockenes und erwärmtes Holz, das schnell gespalten wird, in beiden getrennten Stücken eine entgegengesetzte Elektricität zeigt, dasselbe auch beim Zerbrechen des Siegellacks, Schwefels, Bernsteins und anderer Körper beobachtet wird: so ist Heinrich geneigt, alles durch Druck, Bruch oder Reibung entstehende Licht für ein elektrisches zu halten.

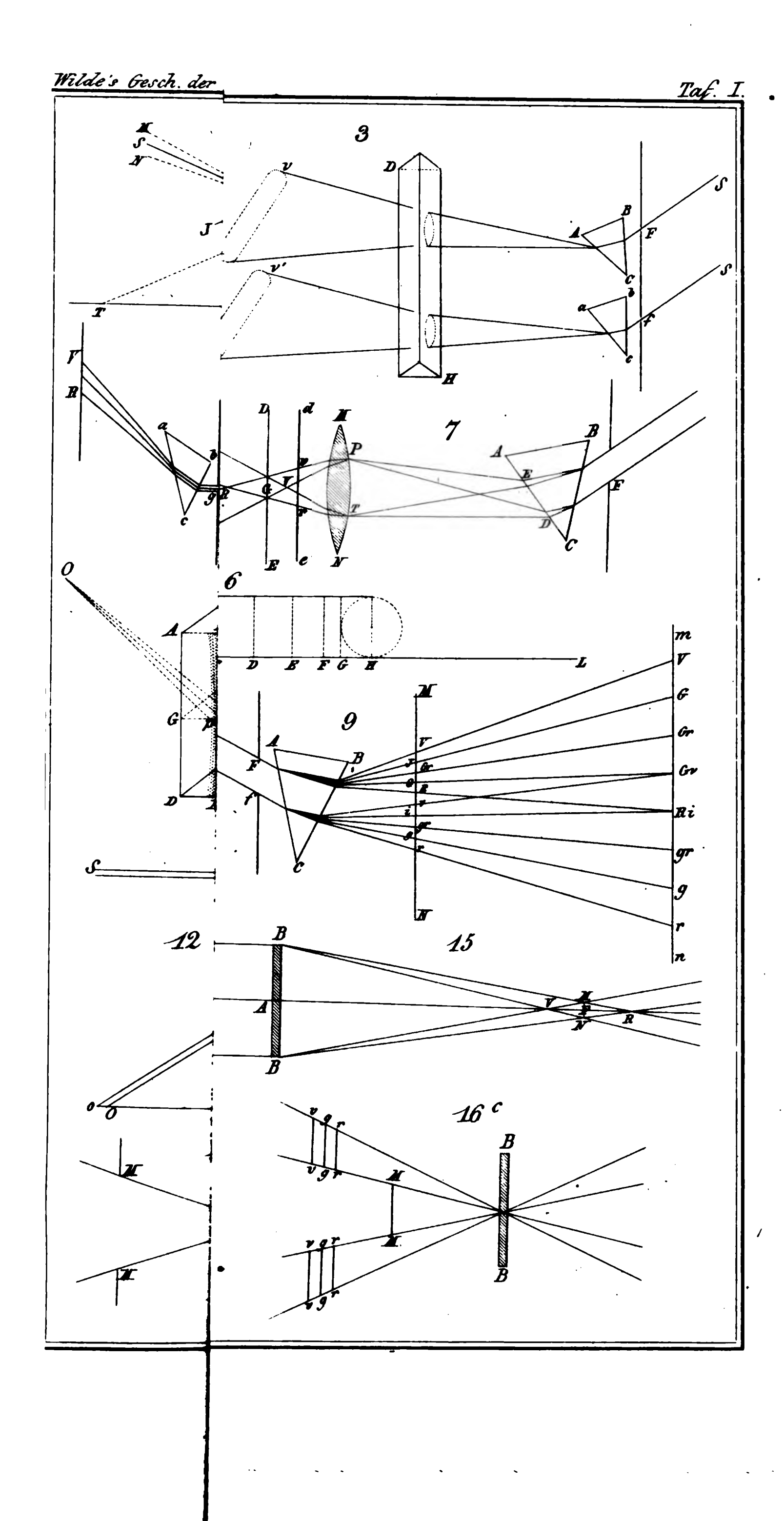
Phosphorescenz bei chemischen Zersetzungen.

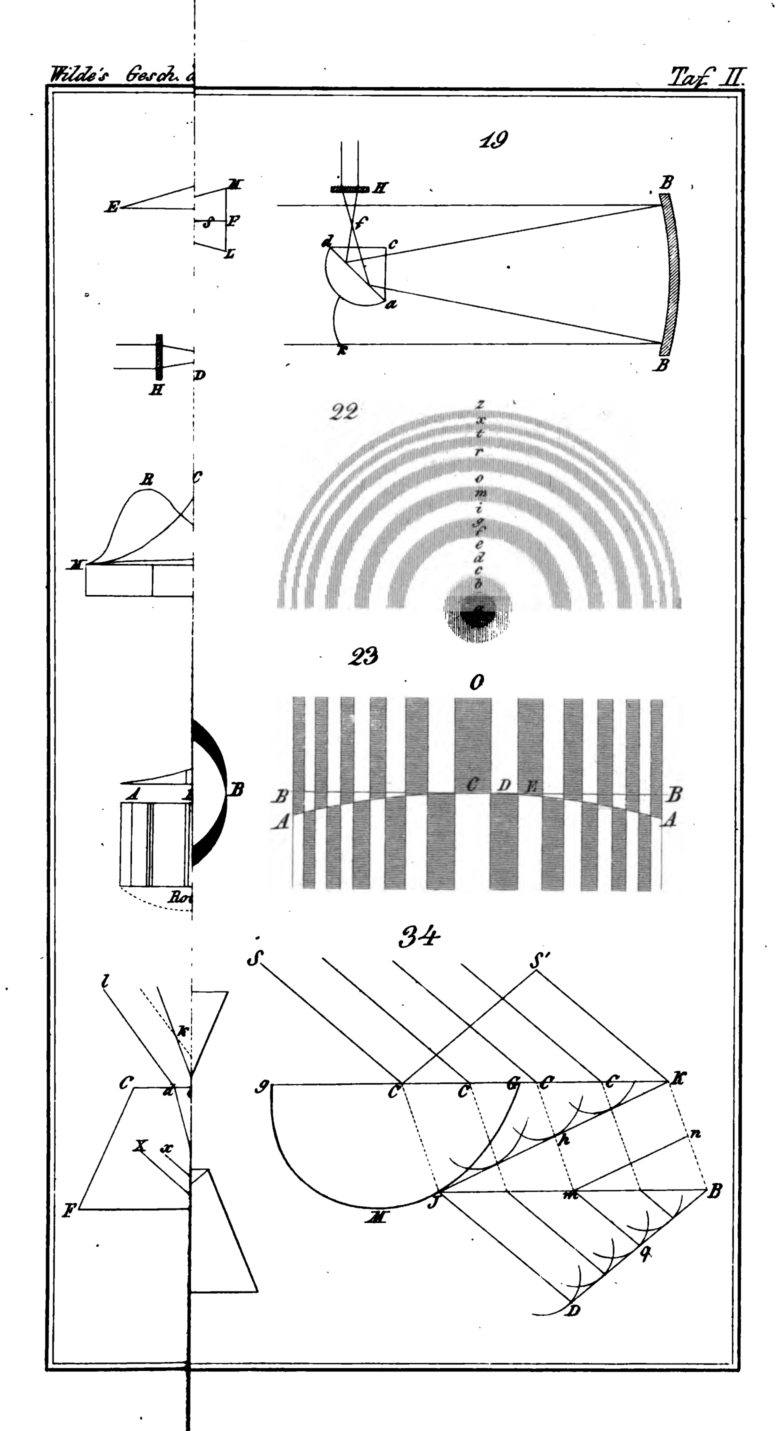
Nur wenige Seiten widmet Heinrich dieser Art der Phosphorescenz in seinem weitläufigen Werke. Er rechnet dahin die zur Lichtentwickelung gesteigerte Erhitzung eines Gemisches von Terpentinöl mit gleichen Theilen Salpeter- und Schwefelsäure, deren Gewicht zusammengenommen dem des Terpentinöls gleich ist; das phosphorescirende Leuchten des frischgebrannten Kalkes, wenn man ihn im Dunkelen nach und nach mit Wasser befeuchtet; das Licht des auf dieselbe Weise behandelten ätzenden Baryts, und mehrerer anderen Substanzen.

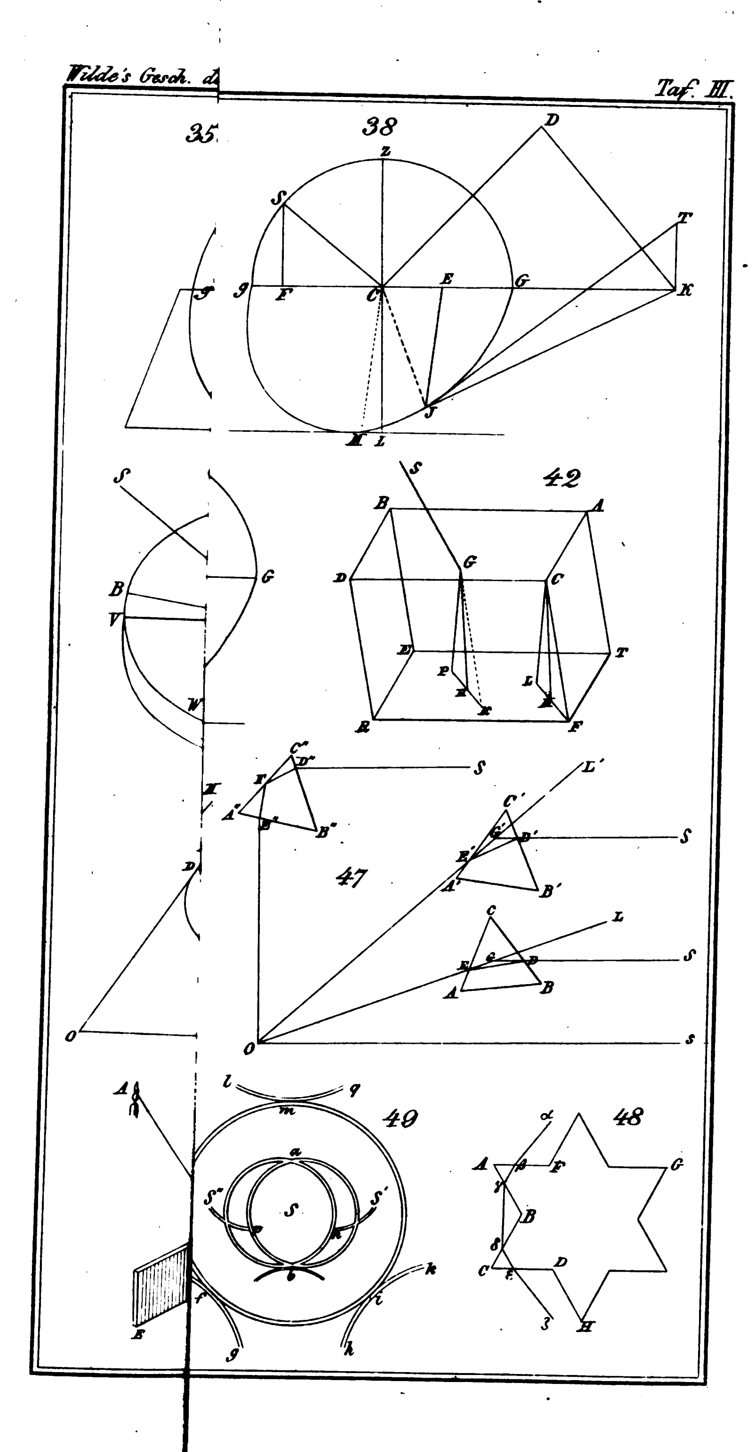
So viel Anerkennung auch der unermüdliche Fleifs Heinrich's verdient, so ist doch seine durch das ganze Werk sich durchziehende, und besonders auf die Phosphorescenz durch Insolation stützende Hypothese, dafs das Licht ein materieller, sich den irdischen Gegenständen inkorporirender Stoff sei, mit dem Standpunkte, den die Optik seit der Mitte des vorigen Jahrhunderts gewonnen hat, unverträglich, zumal da

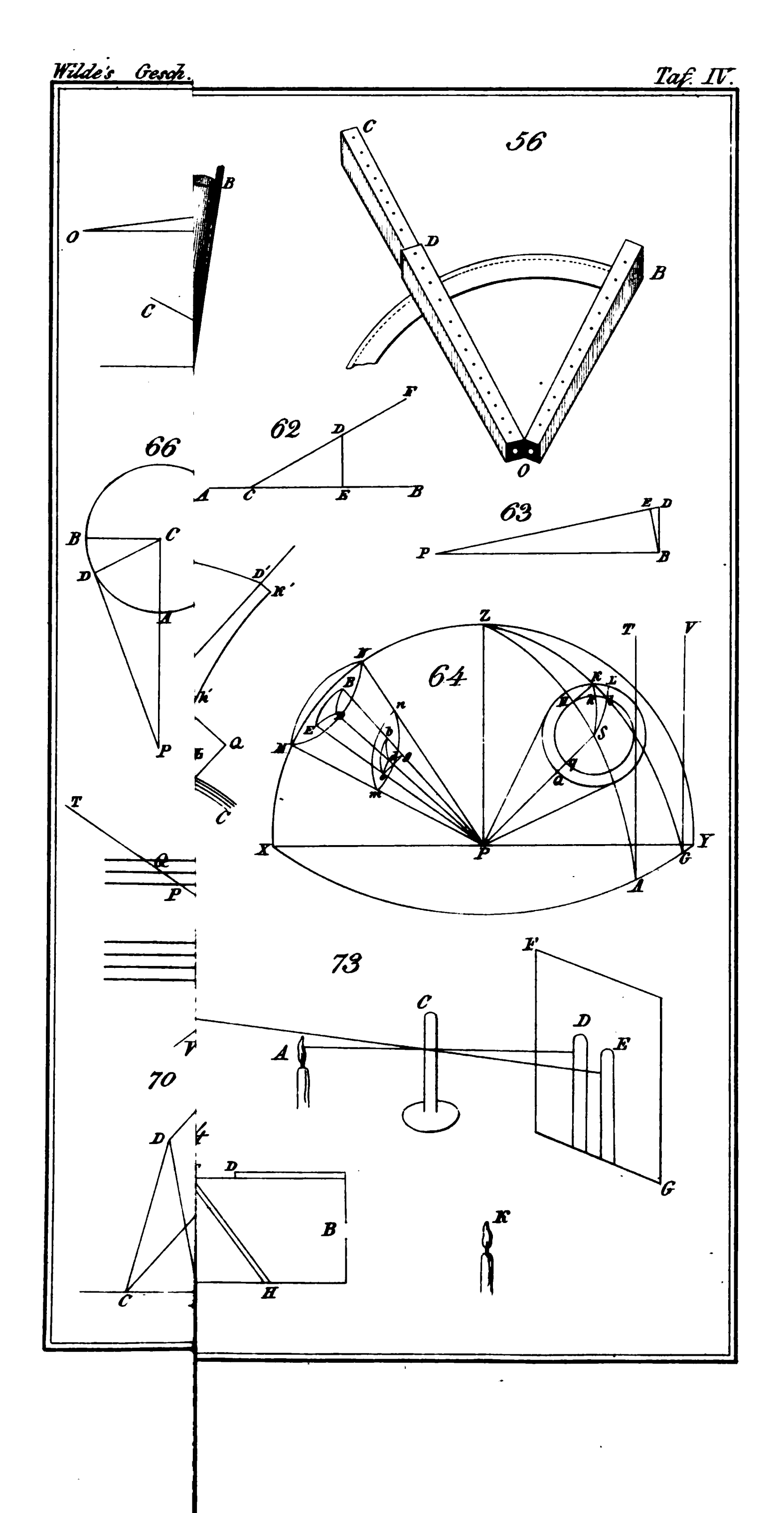
sich die Undulations-Theorie auch hier an die Erscheinungen leicht anschliefst, wenn man annimmt, dafs die durch Insolation phosphorescirenden Körper solche sein, die das Vermögen besitzen, die einmal angeregten Aether-Schwingungen einige Zeit hindurch auf ähnliche Weise nachklingend erhalten zu können, wie bei den physiologischen Farben die Schwingungen der Netzhaut Minuten hindurch nachklingen. Wahrscheinlich war jene unstatthafte Hypothese auch der Grund, aus welchem das Institut von Paris, das die genauere Untersuchung der Phosphorescenz der Körper als eine Preisaufgabe hingestellt hatte, nicht dem Werke Heinrich's, sondern dem viel weniger ausführlichen Dessaignes's im Jahre 1809. den Preis ertheilte.

Berlin, gedruckt bei A. W. Hayn.


3
7
6
9
12
15
16


19
H
B
f
d
c
a
k
B
E
M
F
L
H
D
22
z
x
t
r
o
m
i
g
f
e
d
c
b
R
C
M
23
0
B
A
C
D
E
B
A
B
A
34
S
S'
g
C
C
G
C
C
K
h
n
J
m
B
M
q
D
l
k
C
d
X
x
F


35.
38
42
47
49
48


56
C
D
B
O
62
F
D
A
C
E
B
63
E D
P
B
66
B
C
D
A
P
64
Z
T
V
X
P
Y
G
A
73
F
C
D
E
A
G
K
70
D
C
B
H
T
P


LIBERTÉ
ET
PATRIE


Google

